

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**USO DA *Canavalia ensiformis* COMO FITORREMEDIADOR
DE SOLOS CONTAMINADOS POR CHUMBO**

KÁTIA TERESINHA MATEUS MAZZUCO

Florianópolis
2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**USO DA *Canavalia ensiformis* COMO FITORREMEDIADOR
DE SOLOS CONTAMINADOS POR CHUMBO**

KÁTIA TERESINHA MATEUS MAZZUCO

Tese apresentada como requisito à obtenção do grau de doutora. Curso de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Humberto Gracher Riella

Florianópolis

2008

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese aos meus pais José Pereira Mateus e Belizária Oliveira Mateus que me abençoaram com a vida e pelo carinho, dedicação e compreensão em toda a caminhada.

De uma forma também muito especial dedico ao meu companheiro Rodolfo Mazzuco e ao meu filho abençoado Bruno Mazzuco pela paciência dos momentos difíceis. Também com alegria aos irmãos Gladis Mateus Falchetti Mendes e José Pereira Mateus Júnior.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Jesus por mais uma oportunidade nessa existência.

Existem varias pessoas que merecem serem citadas neste agradecimento, todas de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Humberto Gracher Riella pela orientação e estímulo.

Agradeço também de uma forma muito especial aos amigos e colegas: Maria Ana Pignatel Marcom Martins; Deyse Gonzaga Gomes; Rangel Garcia Nunes; Alécio de Souza; Rui César Rufino e Everton Skoronski

RESUMO

Atualmente setores de várias áreas têm observado com grande interesse o crescente número de poluentes existentes em todo o mundo. Por esse motivo aumenta o interesse por técnicas remediadoras, tendo neste momento um foco maior o solo. Varias técnicas são estudadas e a fitorremediação possui um lugar de destaque devido à sua eficiência na descontaminação dos solos e, também, devido a seu custo ser mais acessível do que outras técnicas. O presente estudo utiliza do recurso de uma pesquisa experimental com o uso da *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco) como fitorremediador de solos contaminados por chumbo. O experimento foi realizado em vasos 6x3 (quinze doses de chumbo e três vasos testemunhas). O solo utilizado foi o podzólico-amarelo. A contaminação do solo foi realizada com nitrato de chumbo, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ usando as seguintes dosagens: 0, 100, 200, 350, 1200 e 2400 mg.kg^{-1} . A planta feijão-de-porco absorveu o chumbo consideravelmente nas concentrações de 100, 200, 350 e 1200 mg.kg^{-1} . já na concentração de 2400 mg.kg^{-1} a planta não apresentou resultados significativos. As plantas apresentam mecanismos próprios para permanecerem vivas mesmo em áreas contaminadas, tendendo à homeostasia. O estudo e a subsequente avaliação da interação entre o solo, a planta e o poluente, são necessários e constituem uma promissora área de pesquisa para a remediação do ambiente. Em vista disso, é necessário que mais estudos nesta área sejam realizados para melhor conhecermos a capacidade fitorremediadora das plantas e sua possível utilização no combate à poluição.

Palavras-chave: Chumbo, *Canavalia ensiformis*, fitorremediação.

ABSTRACT

Nowadays sections of several areas have been observing with great interest the crescent number of pollutant existent all over the world. For that reason the interest for mediator techniques increases, witch larger focus at this time is the soil. Several techniques are studied and the fitoremediation has a prominence place due to its efficiency in the decontamination of the soils and also due to its cost to be more accessible than other techniques. The present study uses of the resource of an experimental research witch the use of the *Canavalia ensiformis* (beans of pig) as a fitoremediator of polluted soils for lead. The experiment has been made in vases 6x3 (fifteen doses of lead and three witnesses vases). The soil used was the podzólico - yellow. The contamination of the soil was made with nitrate of lead, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ using the following dosages: 0, 10, 200, 350, 1200 and 2.400 mg.kg^{-1} . The plant beans of pig sorred the lead strongly in concentration of 100, 200, 350, 1200 mg.kg^{-1} . In the concentration of 2.400 mg.kg^{-1} , the plant didn't show meaningful results. The study and subsequent evaluation of the interaction among the soil, the plant and the pollutant are necessary and constitute a promising research area for the remediation of the atmosphere. In view of that, it is necessary that more studies in this area accomplished so that better the capacity fitoremediator of the plants can be know for its possible use in the combat to the pollution.

Key-works: lead, *Canavalia ensiformis*, fitorremediation.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de fitoextração	22
Figura 2 – Esquema de fitoestabilização	23
Figura 3 – Esquema de fitoestimulação.....	24
Figura 4 – Esquema de fitovolatilização	25
Figura 5 – Esquema de fitodegradação	26
Figura 6 – Lagoa de aguapés para tratamento de chorume	28
Figura 7 – Aplicação da Fitorremediação em recuperação de solo contaminado	30
Figura 8 – <i>Canavalia ensiformis</i> , folhas, flores e vagem.....	31
Figura 9 – Sistema aberto	131
Figura 10 - Resumo do sistema aberto	131
Figura 11– Controle por feedback.....	134
Figura 12 - Identificação das plantas	144

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Composição bromatológica do feijão-de-porco	34
Tabela 2 – Conteúdo em aminoácidos da proteína bruta da semente do Feijão-de-Porco.....	34
Tabela 3 - Composição química dos principais materiais primários do solo.....	42
Tabela 4 - Propriedades texturais	52
Tabela 5 - Propriedades afetadas pelo pH do Solo	57
Tabela 6 - Países emissores de gases do efeito estufa	113
Tabela 7 – Materiais utilizados na pesquisa.	139
Tabela 8 - Reagentes utilizados na pesquisa	139
Tabela 9 - Valores de referência de quantidade de Pb para os solos.....	141
Tabela 10 - Quantidade de chumbo por cada vaso de 8.350 kg.....	142
Tabela 11 - Quantidade de nitrato utilizada para obtenção das amostras.....	142
Tabela 12 - Quantidade de nitrato necessária para o experimento	143
Tabela 13 - Quantidade de nitrato amônio necessária por vaso	143
Tabela 14 - Classes do solo conforme o teor de argila	146
Tabela 15 - Interpretação do teor de fósforo no solo, conforme o teor de argila e para os solos alagados	147
Tabela 16 - Interpretação do teor de potássio no solo, conforme o teor de argila e para os solos alagados	148
Tabela 17 - Valores de Cálcio e Magnésio nas amostras	148
Tabela 18 - Interpretações de teores de cálcio e de magnésio trocáveis, e de enxofre extraível do solo	148
Tabela 19 - Valores de Enxofre, Cobre, Zinco e Boro nas amostras	149
Tabela 20 - Interpretação de micronutrientes no solo	149
Tabela 21 - Valores de matéria orgânica	149
Tabela 22 - Interpretação de micronutrientes no solo	150
Tabela 23 - Quantidade de chumbo encontrado nas amostras após a fitorremediação	150
Tabela 24 - Valor de Pb absorvido por cada planta, desprezando o valor de cada testemunha.	151

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Etapas da atomização do Pb	145
Gráfico 2 – Média da absorção de chumbo das amostras (mg.kg^{-1}).....	153
Gráfico 3 – Absorção de chumbo por cada amostra (mg.kg^{-1}).....	153
Gráfico 4 – Análise estatística com função logarítmica	154

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

°C – Graus Celsius

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Arg – Arginina

As – Arsênio

Ca – Cálcio

Cd – Cádmio

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Cis – Cisteína

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EA – Educação Ambiental

EE – Extrato etéreo

EIA – Estudo do Impacto Ambiental

EPIA – Estudos Prévios de Impacto Ambiental

EUA – Estados Unidos da América

FATMA – Fundação do Meio Ambiente

FB – Fibra bruta

FDN – Fibra em detergente neutro

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente

Gli – Glicina

His – Histidina

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

Leu – Leucina

MEC – Ministério da Educação e Cultura

Met – Metionina

MM – Matéria mineral

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MO – Matéria Orgânica

MS – Matéria seca

ONU – Organização das Nações Unidas

P – Fósforo

Pb – Chumbo

PB – Proteína Bruta

Pb(NO₃)₂ – Nitrato de Chumbo

Phe – Fenilalanina

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente.

RIMA – Relatório do Impacto Ambiental

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente do Brasil

SEMAM – Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República

SUDEPE – Superintendência da Pesca

SUDHEVEA – Superintendência da Borracha

The – Treonina

Tir – Tirosina

Tri – Triptofano

UFLA – Universidade Federal de Lavras

Val – Valina

ZEI – Distritos industriais e zonas estritamente industriais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	Erro! Indicador não definido.17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 JUSTIFICATIVA PARA A PROPOSTA DE TESE	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 FITORREMEDIÇÃO	19
2.1.1 Potencial econômico da fitorremediação	20
2.1.2 Denominações	20
2.1.3 Exemplos de Aplicações da Fitorremediação.....	27
2.2 A PLANTA CANAVIA ENIFORMIS.....	31
2.2.1 Características.....	31
2.2.2 Características básicas	32
2.2.3 Recomendações agronômicas	33
2.2.4 Composição bromatológica do feijão- de- porco	34
2.3 - POLUIÇÃO DOS SOLOS	35
2.3.1 Definições	35
2.3.2 Intemperismo das rochas	37
2.3.3 Horizontes de solo	38
2.3.4 Constituição	38
2.3.5 Propriedades	50
2.3.6 Classificação e categoria	58
2.3.7 Degradação e contaminação do solo	65
2.3.8 Técnicas de recuperação	77
2.4 – METAIS PESADOS	87
2.4.1 Chumbo	93
2.4.2 Intoxicações por chumbo	95
2.4.3 Sinais e sintomas	97

2.4.4 Controle da exposição ocupacional	98
2.5 IMPACTO AMBIENTAL.....	99
2.5.1 Avaliação de Impacto Ambiental	101
2.5.2 Relatório de Impacto Ambiental	102
2.5.3 Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	103
2.5.4 Direito ambiental	104
2.5.5 Poluição	105
2.5.6 Poluição global	111
2.5.7 Países emissores de gases do efeito estufa	113
2.5.8 A poluição e a diminuição da camada de ozônio	113
2.5.9 Protocolo de Montreal Poluição	114
2.6 DESENVOLVIMENTO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL	115
2.1.1 Desenvolvimento e educação	115
2.6.2 Educação ambiental.....	120
2.6.3 Conceituação	124
2.6.4 Princípios.....	126
2.6.5 Objetivos.....	127
2.6.6 O caráter sistêmico da EA	129
2.6.7 Considerações sobre o atual contexto e tendência mundial	135
3 MATERIAIS E MÉTODOS	137
3.1 Metodologia.....	137
3.2 Materiais e Reagentes	139
3.3 Métodos	139
3.4 Experimento	141
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	146
4.1 Resultados e discussões da análise do laudo de solo antes da fitorremediação	146
4.2 Resultado da análise do solo após a fitorremediação	150
4.3 Discussão dos resultados da fitorremediação	151
5 CONCLUSÕES.....	155

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	157
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
APÊNDICES	167
ANEXOS	182

1 INTRODUÇÃO

A poluição do solo e de águas superficiais e subterrâneas, provocada por resíduos urbanos, passou a ser motivo de estudos em todo o mundo, principalmente nos países mais industrializados, dado ao reconhecido potencial poluidor e o grande volume gerado diariamente. (SOUSA; ROESER; MATOS, 2002)

Uma das alternativas para a despoluição ambiental é a fitorremediação. A possibilidade de contaminação ambiental, associada à necessidade de grandes áreas para a disposição e tratamento, tornou a solução para o problema do lixo urbano um dos mais sérios desafios para as administrações públicas municipais. (ARAÚJO, 2000)

A estimativa mundial para os gastos anuais com a despoluição ambiental gira em torno de 25 – 30 bilhões de dólares. Este mercado, estável nos Estados Unidos (7 – 8 bilhões), tende a crescer no Brasil uma vez que os investimentos para tratamento dos rejeitos humanos, agrícola e industrial crescem à medida que aumentam as exigências da sociedade e leis mais rígidas são aplicadas. Apesar das pressões, são as tecnologias mais baratas com capacidade de atender uma maior demanda e que apresentam mais capacidade de desenvolvimento, que tendem a obter maior sucesso no futuro. (DINARDI, 2003).

Recentemente, tem sido noticiado na mídia escrita e falada a contaminação de adultos, crianças, lotes e vivendas residenciais, com metais pesados, principalmente por chumbo e mercúrio. Contudo, a maioria da população não tem informações precisas sobre os riscos e as conseqüências da contaminação por esses metais para a saúde humana.

Devido à sua abundância na crosta terrestre, o chumbo está amplamente distribuído no ambiente. Suas fontes naturais incluem as emissões vulcânicas, o intemperismo geoquímico e as emissões provenientes do mar. No entanto, devido à intensa exploração deste metal pelo homem, atualmente é difícil avaliar o conteúdo de chumbo originado de fontes naturais.

As emissões industriais podem aumentar os níveis ambientais de chumbo, principalmente em áreas vizinhas a estas indústrias, pois nelas são utilizados processos e tecnologia obsoletos e, em geral, tais empresas têm instalações precárias, são ampliadas sem planejamento ou cuidados com a purificação do ar, funcionando como fontes de emissão de chumbo para o ambiente externo. (WHO, 1992)

A contaminação por metais pesados é uma das mais preocupantes, pois estes não se degradam: uma vez emitidos, permanecem no ambiente durante centenas de anos, afetando a vegetação, as correntes de água, os animais e os seres humanos.

No Brasil, entretanto, são escassos os estudos sobre o impacto de metais pesados no sistema solo-planta visando à recuperação de áreas contaminadas. Devido à complexidade do problema, o presente estudo tem uma abordagem multidisciplinar, envolvendo aspectos de química de solos, nutrição vegetal e fitorremediação, indispensáveis para o diagnóstico do problema e para viabilizar a recomposição de uma área contaminada por metais pesados.

A fitorremediação utiliza sistemas vegetais para recuperar águas e solos contaminados por poluentes orgânicos ou inorgânicos. Esta área de estudo tomou impulso nos últimos dez anos, quando verificou-se que a zona radicular das plantas apresenta a capacidade de biotransformar moléculas orgânicas exógenas (externas). A rizosfera, como é denominada esta zona, tem sido desde então estudada por sua importante função: fonte de nutrientes para os diversos microrganismos que co-habitam nesta região. Assim, como a sua capacidade de estimular a degradação de pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares e outras substâncias químicas. (FAÇANHA; CASTRO; SANTANA; 2007)

Quanto à possibilidade de utilizar espécies vegetais para remediação de solos, diversos trabalhos relatam a utilização de leguminosas para esse fim. Pois, além de essas espécies serem tolerantes a diversos herbicidas, podem ainda liberar exsudatos radiculares, que atuam ativando a microbiota do solo na decomposição dos compostos orgânicos aplicados. (BELO, 2006)

Além disso, as leguminosas ainda apresentam outras características agronômicas, ou seja, como produção de elevada biomassa fresca e seca, e fixação do nitrogênio atmosférico, contribuindo para maior ganho de matéria orgânica do solo, altamente desejável ao sistema produtivo. (PIRES, 2003).

Está comprovado que os processos degradativos são mais acentuados nos solos que apresentam não cobertura vegetal, portanto a cobertura promove melhorias na qualidade do solo (FAVERO, JUCKSCH, 2001). Refletindo desta forma, uma condição de equilíbrio ambiental.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo apresenta como objetivo geral analisar a planta feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) como fitorremediador de solo contaminado por chumbo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar o crescimento de planta feijão-de-porco em concentrações diferente de chumbo no solo
- Observar o crescimento de planta feijão-de-porco em concentrações diferente de chumbo no solo.
- Analisar o laudo do solo utilizado no experimento.

1.2 JUSTIFICATIVA

O presente estudo explora o uso do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) como fitorremediador de solos contaminados por chumbo.

Desde a formação do planeta Terra, a cerca de 4,5 bilhões de anos atrás, teve início uma dinâmica e intensa cooperação entre o sistema geofísico, a biosfera e a composição atmosférica. Essa cooperação, que continua até os nossos dias, é responsável pela diversificação dos processos físico-químicos que modificam o planeta como um todo.

Estudos relacionados a possíveis modificações de ambientes degradados e poluídos que possam colaborar para uma melhor qualidade de vida para todos os seres do planeta Terra, justificam o interesse despertado nos meios científicos.

O problema da deposição de metais na superfície do solo pode acarretar consequências graves ao ecossistema.

A contaminação por chumbo nos solos provém de fontes antrópicas, tais como o uso de insumos agrícolas com teores elevados de chumbo, deposição atmosférica, mineração e resíduos industriais. (PIERANGELI, 1999)

O chumbo ocupa um lugar de destaque entre uma lista de substâncias orgânicas e inorgânicas de alta toxicidade humana, além disso, no mundo existe uma forte preocupação em relação à legislação ambiental, visando a prevenção e o controle da poluição.

Aumento na concentração de chumbo no solo pode acarretar sérios riscos à saúde humana.

A toxicidade do chumbo gera desde efeitos claros ou clínicos, até efeitos sutis ou bioquímicos. Estes últimos envolvem vários sistemas de órgãos e atividades bioquímicas.

Na criança, os efeitos críticos atingem o sistema nervoso, enquanto que nos adultos com a exposição ocupacional excessiva, ou mesmo accidental, os cuidados são com neuropatia crônica. Também, os sistemas gastrintestinal e reprodutivo são alvos da intoxicação pelo chumbo. (SARYAN, 1994)

Atualmente existe crescente interesse em técnicas biológicas para a despoluição dos solos e águas contaminadas.

Uma das estratégias para a reabilitação de áreas contaminadas é a fitorremediação, que consiste na introdução de espécies vegetais altamente especializadas em acumular concentrações de metais pesados em seus tecidos, as plantas e sua comunidade microbiana associados degradam, seqüestram ou imobilizam poluentes presentes no solo. Tal técnica apresenta grande atrativo, graças à possibilidade de promover a descontaminação do local *in situ*, bem como baixo custo, quando comparada à remoção do solo para seu tratamento. (SURSALA, et al 2002)

As leguminosas são plantas que promovem melhorias nas condições do solo, favorecem espécies com maior capacidade de clivagem de nutrientes e produção de biomassa. Portanto, justifica-se o uso do feijão-de-porco por ser uma leguminosa com capacidade de fixar o nitrogênio, despertando-nos interesse para o referido estudo, o qual aborda a espécie feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) para a verificação da melhoria da qualidade do solo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FITORREMEDIAÇÃO

A recuperação de áreas contaminadas pelas atividades humanas pode ser feita através de vários métodos: escavação, incineração, extração com solvente, oxidoredução e outros que são bastante dispendiosos. Alguns processos deslocam a matéria contaminada para local distante, causando riscos de contaminação secundária e aumentando ainda mais os custos com tratamento (CUNNINGHAM, 1996). Por isso, em anos recentes passou-se a dar preferência por métodos *in situ* que perturbem menos o ambiente e são mais econômicos.

Neste contexto, a biotecnologia oferece a fitorremediação como alternativa capaz de empregar sistemas vegetais fotossintetizantes e sua microbiota com o fim de desintoxicar ambientes, incluindo nesta desintoxicação: compostos inorgânicos, elementos químicos radioativos, hidrocarbonetos derivados de petróleo, pesticidas e herbicidas, explosivos, solventes clorados e resíduos orgânicos industriais, entre outros (GLASS, 1998). A fitorremediação oferece várias vantagens que devem ser levadas em conta. Grandes áreas podem ser tratadas de diversas maneiras, a baixo custo e com possibilidades de remediar águas contaminadas ao solo e subsolo e ao mesmo tempo embelezar o ambiente.

Segundo Andrade *et al.* (2007), outra vantagem importante da fitorremediação é que a técnica se beneficia por empregar os mesmos equipamentos e insumos utilizados na agricultura e silvicultura convencionais. Dessa forma, a aplicação é favorecida pela fácil aquisição e pelo menor custo de equipamentos e insumos produzidos em escala industrial e comercializados com preço compatível com a concorrência de mercado.

Andrade ressalta ainda que o uso da fitorremediação apresenta restrições, desvantagens e riscos que devem ser levados em conta quanto à sua aplicação. Se o baixo custo é uma vantagem, o tempo para que se observem resultados pode ser uma desvantagem, pois depende do ciclo de vida da planta e pode apresentar-se longo para as perspectivas envolvidas. Além disso, a concentração do poluente e a presença de outras toxinas devem estar dentro dos limites de tolerância da planta. Outra limitação, é que as plantas, usadas com o propósito de minimizar a poluição ambiental, podem entrar na cadeia alimentar de outros seres vivos, incorporando essas cadeias contaminantes cuja bioacumulação pode resultar em toxicidade e prejuízos ambientais. (ANDRADE *et al.*, 2007)

2.1.1 Potencial econômico da fitorremediação

A estimativa mundial para os gastos anuais com a despoluição ambiental gira em torno de 25 – 30 bilhões de dólares. Este mercado, estável nos Estados Unidos (7 – 8 bilhões), tende a crescer no Brasil uma vez que os investimentos para tratamento dos rejeitos humanos, agrícola e industrial crescem à medida que aumentam as exigências da sociedade e leis mais rígidas são aplicadas. Apesar das pressões, são as tecnologias mais baratas com capacidade de atender uma maior demanda e que apresentam mais capacidade de desenvolvimento, que tendem a obter maior sucesso no futuro.

Nos últimos 10 anos, surgiram nos EUA e Europa inúmeras companhias que exploram a fitorremediação para fins lucrativos, como a norte americana *Phytotech* e a alemã *BioPlanta* e indústrias multinacionais, como *Union Carbide*, *Monsanto* e *Rhone-Poulanc*, que empregam fitorremediação em seus próprios sítios contaminados. (GLASS, 1998)

Várias universidades desenvolvem projetos ligados a esta área, entre elas: Universidade da Califórnia, USA e a Universidade de *Glasgow*, Escócia. No Brasil, sabe-se que algumas empresas estatais e privadas, bem como instituições acadêmicas, pesquisam e exploram métodos de biorremediação através da fitorremediação. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2007) O sucesso do tratamento empregando plantas aquáticas vai além do baixo custo. Há muitas possibilidades de reciclagem da biomassa produzida que pode ser utilizada como fertilizante, ração animal, geração de energia (biogás ou queima direta), fabricação de papel, extração de proteínas usadas em rações, extração de substâncias quimicamente ativas de suas raízes para uso como estimulante de crescimento de plantas, etc. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2007).

2.1.2 Denominações

É conhecido que na Alemanha, há mais de 300 anos, que as plantas já eram utilizadas no tratamento de esgotos (CUNNINGAM, 1996). Porém, o uso do termo *phytoremediation* (*phyto* = vegetal + *remediation* = remediação) é muito mais recente, tendo sido cunhado no ano de 1991, para definir o uso de vegetais, e dos microrganismos a eles associados, como instrumento para contenção, isolamento, remoção ou redução das concentrações de contaminantes em meio sólido, líquido ou gasoso (EPA, 2000).

A fitorremediação pode ser classificada dependendo da técnica a ser empregada, da natureza química ou da propriedade do poluente. Assim, a fitorremediação pode ser compreendida em:

- Fitoextração: técnica na qual este estudo utiliza na prática, consistindo na absorção dos contaminantes pelas raízes, os quais são nelas armazenados ou são transportados e acumulados nas partes aéreas. (ZEITOUNI, 2003)

O destino do material vegetal produzido dependerá da possibilidade ou não de seu aproveitamento, sendo decidido de acordo com a espécie vegetal cultivada, sua capacidade de bioacúmulo e o risco ambiental representado. Dependendo do caso, o tecido vegetal pode ser incinerado, depositado em aterro, co-processado na fabricação de cimento, ou, em caso de aproveitamento, utilizado para a produção de fibras, móveis, etc.(ANDRADE *et al.*, 2007)

É aplicada principalmente para metais, podendo ser usada também para outros compostos inorgânicos e compostos orgânicos. (MCGRATH, 1998). Esta técnica utiliza plantas chamadas hiperacumuladoras, que têm a capacidade de armazenar altas concentrações de metais específicos, (0,1% a 1% do peso seco, dependendo do metal). As espécies de *Brassica juncea*, *Aeolanthus biformifolius*, *Alyssum bertolonii* e *Thlaspi caerulescens* são exemplos de plantas acumuladoras de Pb, Cu/Co, Ni e Zn, respectivamente. (CUNNINGHAM, 1996)

A variabilidade dos possíveis usos está correlacionada ao número de espécies hiperacumuladoras, sendo que, até o ano de 200, eram conhecidas mais de 400 espécies de plantas acumuladoras pertencentes a 45 diferentes famílias. (LASAT, 2000)

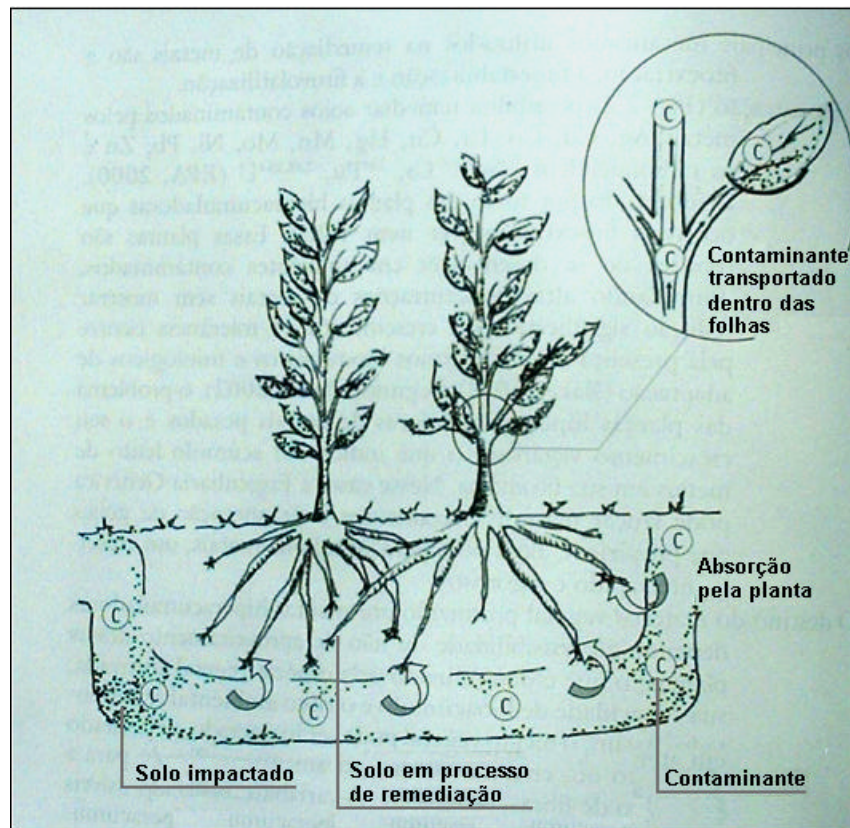


Figura 01 – Esquema de fitoextração

Fonte: ANDRADE *et al.*, 2007

- Fitoestabilização: A fitoestabilização pode ser entendida como um conjunto de mecanismos, físicos, químicos ou físico-químicos.

A fitoestabilização física ocorre porque a presença de plantas evita a erosão superficial e a lixiviação do poluente, além disso, a presença de plantas pode, direta ou indiretamente, provocar a lignificação ou humificação do contaminante no solo. (ANDRADE *et al.*, 2007)

A fitoestabilização química ocorre por meio de mudança química e/ou microbiológica da zona das raízes e, ainda, pela alteração química do contaminante. Baseia-se na mudança da solubilidade e da mobilidade do metal e na dissolução de compostos orgânicos, por intermédio da mudança do pH do solo pela exsudação de substâncias pelas raízes ou mediante a produção de CO₂. (ANDRADE *et al.*, 2007)

Exemplos de plantas cultivadas com este fim são as espécies de *Haumaniastrum*, *Eragrostis*, *Asclepis*, *Gladiolus* e *Alyssum*. (LABORATÓRIO DE LIMNOLOGIA, 2007)

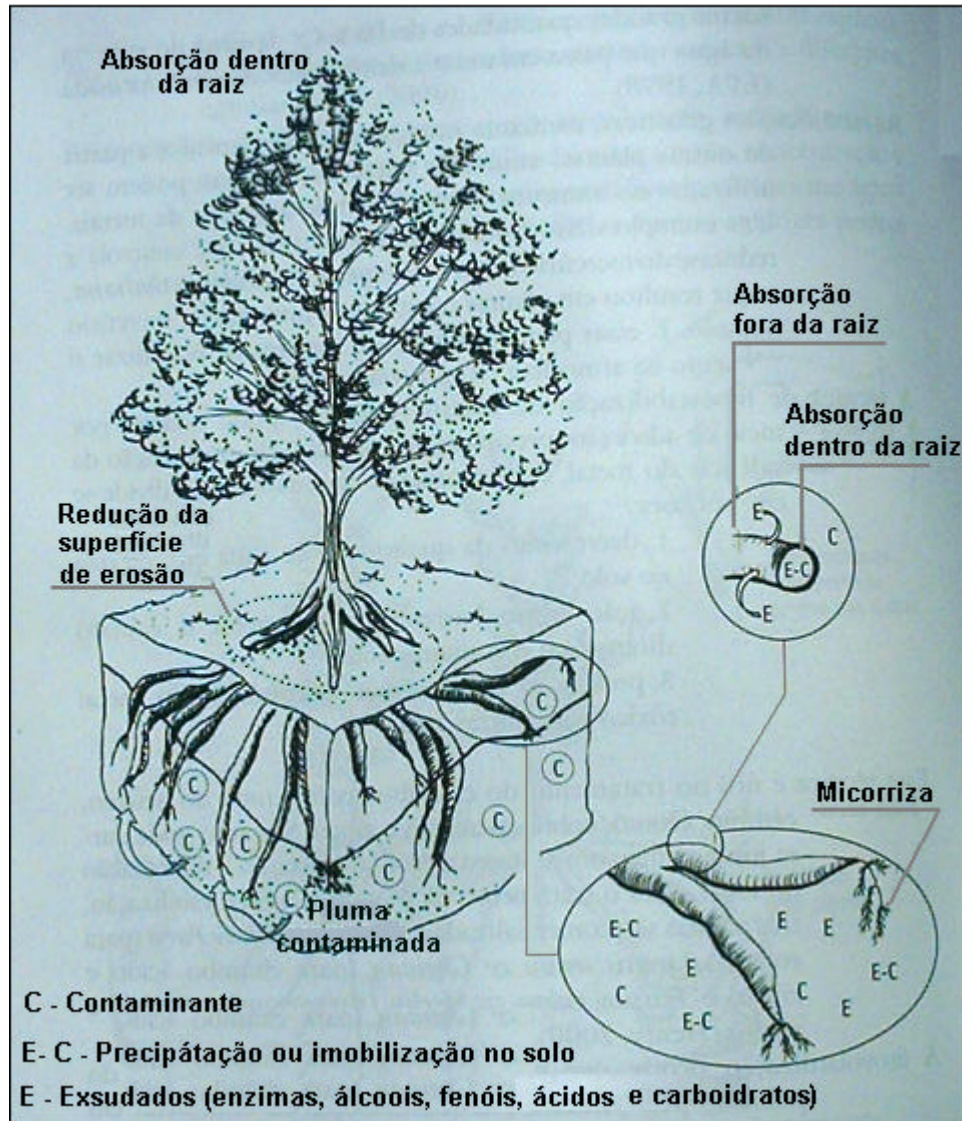


Figura 02 – Esquema de fitoestabilização

Fonte: ANDRADE *et al.*, 2007

- **Fitoestimulação**:: as raízes em crescimento, (extremidades e ramificações laterais) promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera, que usam os metabólitos exsudados da planta como fonte de carbono e energia. Além disso, as plantas podem secretar as próprias enzimas biodegradativas. A aplicação da fitoestimulação limita-se aos contaminantes orgânicos (BROOKS, 1998). A comunidade microbiana na rizosfera é heterogênea devido à distribuição espacial variável dos nutrientes nesta zona. Porém os *Pseudomonas* são os organismos predominantes associados às raízes. (CUNNINGHAM, 1996)

Embora a fitoestimulação seja mais adequada para contaminantes orgânicos ou organometálicos, elas também podem promover a transformação de metais. Nesse sentido,

pesquisas estão em andamento e observa-se também sua viabilidade de aplicação para os metais. (ANDRADE *et al.*, 2007)

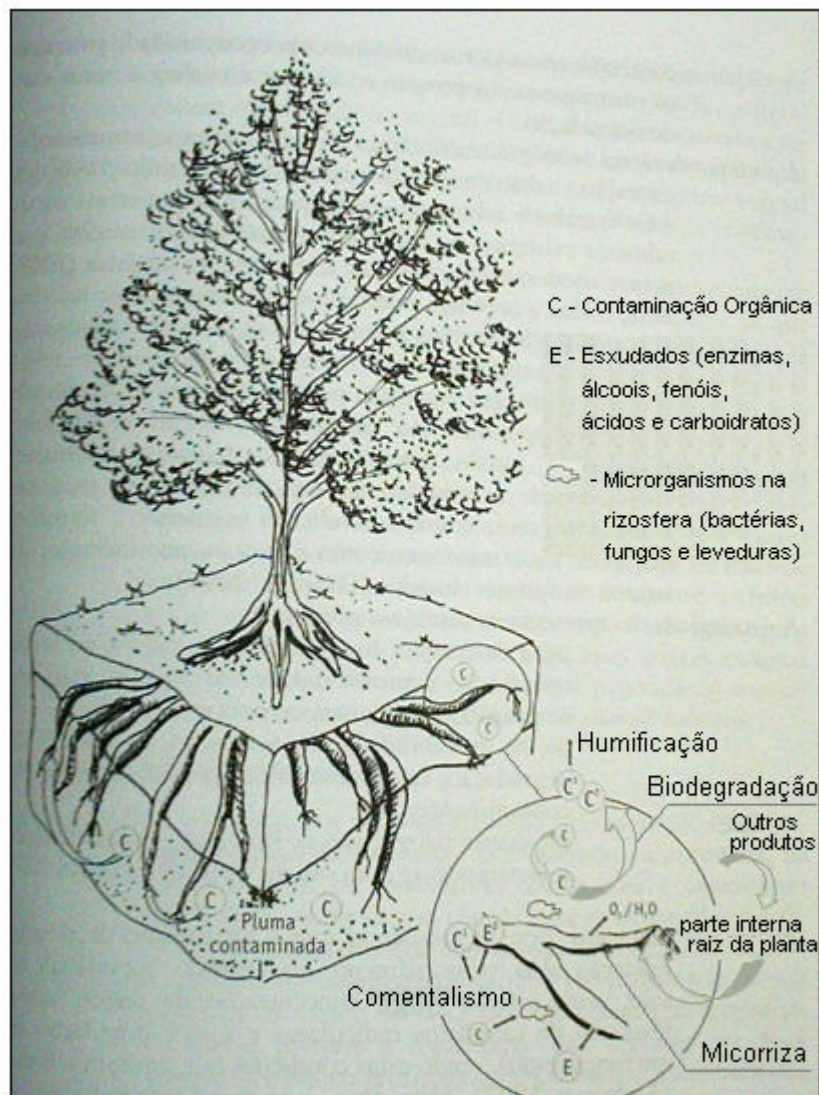


Figura 03 – Esquema de fitoestimulação

Fonte: ANDRADE *et al.*, 2007

- **Fitovolatilização:** é o processo pela qual as plantas e/ou os microorganismos a elas associados ajudam a remover os poluentes do meio pela volatilização destes.

A volatilização pode ocorrer pela biodegradação na rizosfera ou após a passagem na própria planta. No caso da absorção do poluente, este pode passar por diversos processos metabólicos internos, sendo liberado a partir da superfície das folhas. Assim dependendo da atuação ou não dos processos metabólicos, a liberação do contaminante para a atmosfera pode ocorrer de forma original ou transformada. (ANDRADE *et al.*, 2007)

O uso da fitovolatilização é vantajoso, pois o contaminante é removido do ecossistema. Entretanto, esse procedimento deve ser trabalhado com cuidado, pois existe o risco das plantas liberarem concentrações muito elevadas de contaminantes potencialmente tóxicos na atmosfera. (WATANABE, 1997)

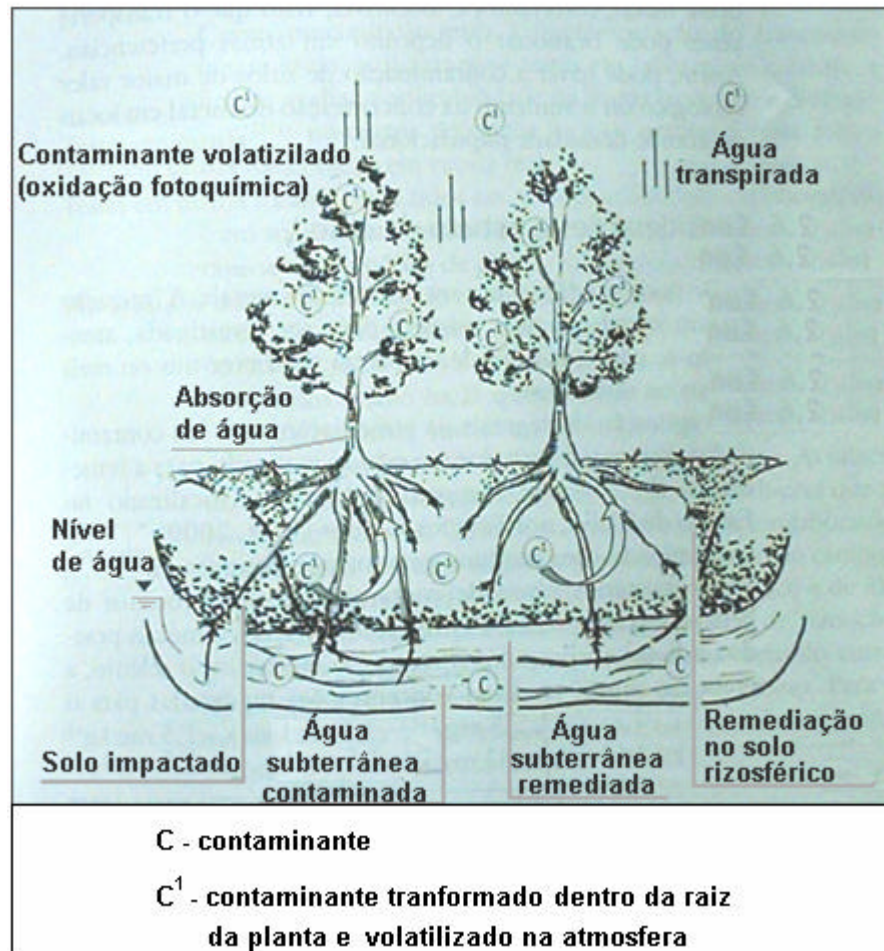


Figura 04 – Esquema de fitovolatilização

Fonte: ANDRADE *et al.*, 2007

Fitodegradação: na fitodegradação, o poluente sofre bioconversão no interior das plantas ou em sua superfície, passando a formas menos tóxicas (catabolismo ou anabolismo). É empregada principalmente na remoção de contaminantes orgânicos. (ANDRADE *et al.*, 2007)

A trajetória geral de degradação, seguida pelos vegetais, para converter n-alcanos em produtos não tóxicos pode ser escrita como: (DURMISHIDZE, 1977)

n-alcanos → álcoois primários → ácidos graxos → acetil-CoA → vários compostos

A absorção dos contaminantes pela planta é função de sua hidrofobicidade, solubilidade e polaridade. Compostos orgânicos moderadamente hidrofóbicos são mais facilmente absorvidos e transportados pelas plantas; por outro lado, os compostos muito solúveis não são absorvidos pelas raízes. Já os compostos hidrofóbicos podem ser encontrados na superfície das parênquimas dentro delas, mas não são transportados pela planta. (ANDRADE *et al.*, 2007)

A absorção de componentes orgânicos irá depender também do tipo de planta, idade do contaminante e de muitas outras características do solo. (ANDRADE *et al.*, 2007)

Populus sp. e *Myriophyllum spicatum* são exemplos de plantas que possuem tais sistemas enzimáticos. (GLASS, 1998)

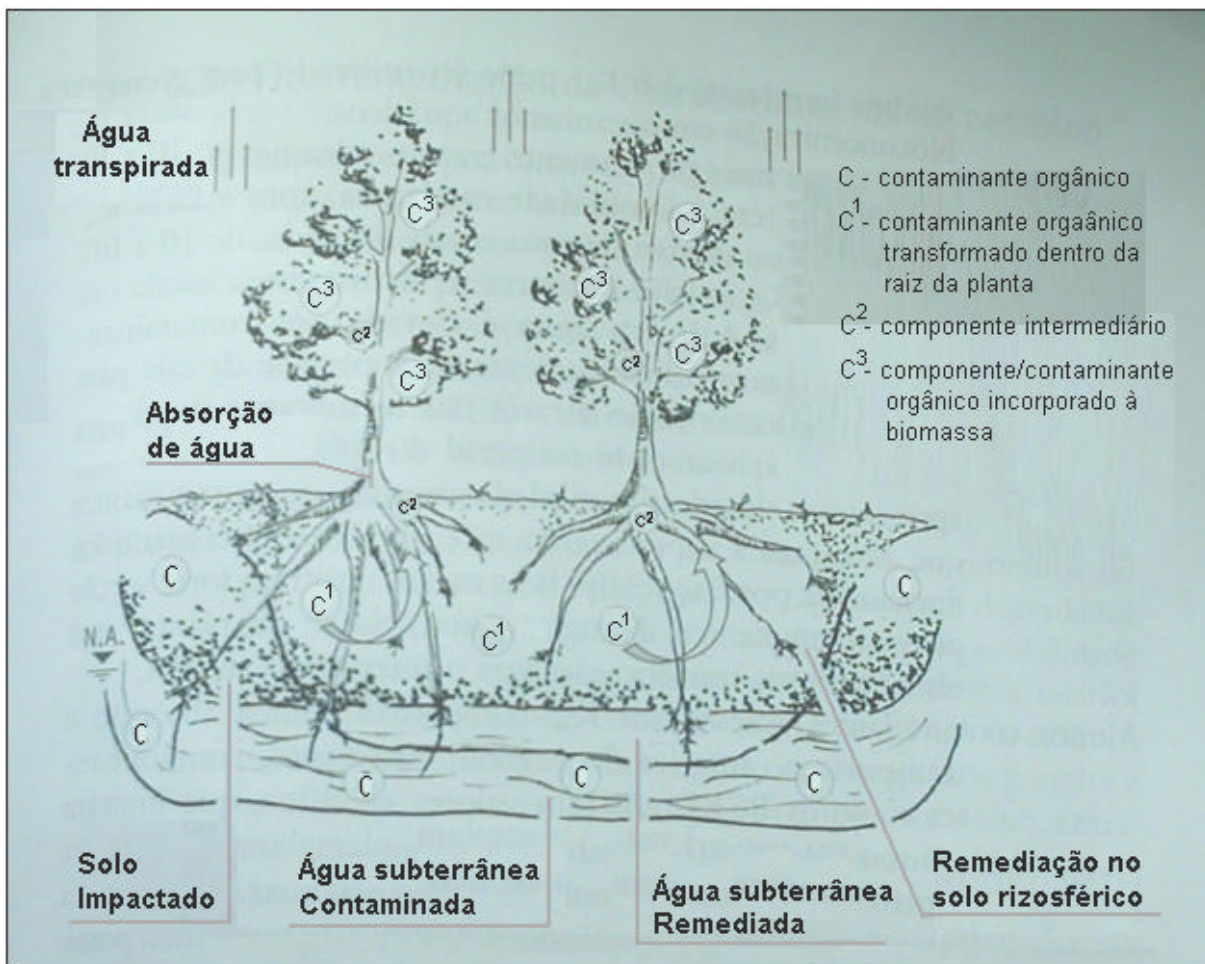


Figura 05 – Esquema de fitodegradação

Fonte: ANDRADE *et al.*, 2007

- Rizofiltração: é a técnica que emprega plantas terrestres para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes de um meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radiativos, através do seu sistema radicular. (GLASS, 1998) As plantas

são mantidas num reator de sistema hidropônico, através do qual, os efluentes passam e são absorvidos pelas raízes, que concentram os contaminantes. (HORTI RELVA, 2007) Plantas com grande biomassa radicular (hiperacumuladores aquáticos) são as mais satisfatórias, como *Helianthus annuus* e *Brassica juncea*, as quais provaram ter potencial para esta tecnologia. (O QUE É A FITORREMEDIAÇÃO?, 2007)

- Barreiras hidráulicas: algumas árvores de grande porte, particularmente aquelas com raízes profundas (Ex: *Populus sp.*), removem grandes quantidades de água do subsolo ou dos lençóis aquáticos subterrâneos a qual é evaporada através das folhas (HORTI RELVA, 2007). Os contaminantes presentes na água são metabolizados pelas enzimas vegetais, vaporizados junto com a água ou simplesmente aprisionados nos tecidos vegetais. (GLASS, 1998)

- Capas vegetativas: são coberturas vegetais, constituídas de capins ou árvores, feitas sobre aterros sanitários (industriais e municipais), usadas para minimizar a infiltração de água da chuva e conter a disseminação dos resíduos poluentes, evitando que o lixo fique a céu aberto. (GLASS, 1998) As raízes incrementam a aeração do solo, promovendo a biodegradação, evaporação e transpiração. (GLASS, 1998)

- Açudes artificiais: são ecossistemas formados por solos orgânicos, microrganismos, algas e plantas aquáticas vasculares que trabalham conjuntamente no tratamento dos efluentes, através das ações combinadas de filtração, troca iônica, adsorção e precipitação. (O QUE É A FITORREMEDIAÇÃO?, 2007) É o mais antigo método de tratamento dos esgotos municipais e industriais e não é considerado como fitorremediação, pois se baseia nas contribuições de todo sistema.

2.1.3 Exemplos de Aplicações da Fitorremediação

- Tratamento de chorume por Fitorremediação:

O chorume pode ser tratado por processo de fitorremediação tanto na sua parte líquida, através do aguapé (Figura 06), quanto por meio da irrigação, empregando

fitotratamento com tubérculos (beterraba, cenoura e rabanete) e espécies folhosas (alface) (HAAG, 1998). Para crescer, as plantas necessitam de 16 elementos químicos, considerados essenciais e de outros que embora não essenciais, têm efeitos positivos sobre o desenvolvimento dos vegetais. Dos 16 elementos químicos, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, B e Cl) são retirados do solo; o C, o H e o O são retirados do ar na forma de gás carbônico e água. Estes nutrientes podem ser encontrados em grandes concentrações no chorume (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2007). O Co, o Ni, o Si, o V e o Cd são considerados benéficos ao crescimento das plantas e também podem ser encontrados no chorume (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2007). A remoção dos metais pesados pode ser eficientemente realizada através da fitorremediação. (LABORATÓRIO DE LIMNOLOGIA, 2007)

Após a saturação, os metais podem ser recuperados na biomassa regenerada. Vários ciclos de minerais poderiam ser obtidos por meio de sorção/dessorção, empregando plantas. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2007) Esta técnica apresentaria custos reduzidos, devido empregarem recursos naturais e disponíveis. As macrófitas após secagem apresentam massa muito baixa, facilitando a recuperação de metais.



Figura 06 - Lagoa de aguapés para tratamento de chorume

Fonte: BAVARESCO, 1998

- Controle de erosão e disseminação de Metais Pesados no solo:

Depois de várias tentativas frustradas para conter as erosões e a disseminação de metais pesados oriundos dos rejeitos do processo industrial, foram feitos vários estudos e a fitorremediação passou a ser estudada como alternativa, (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2007)

Especialistas em Química e Biologia do Solo e Nutrição Vegetal da Universidade Federal de Lavras (Ufla) uniram esforços para diagnosticar o nível de contaminação de 18 hectares degradados e estudar uma estratégia de reabilitação. Depois de cinco anos de pesquisa nos laboratórios da Ufla chegou-se à conclusão de que o melhor meio seria o tratamento com plantas e substituição do solo contaminado. O processo consiste basicamente em retirar a terra contaminada de valas paralelas e de uma camada superficial de toda a área e substituí-la por solo não-contaminado para implantar dois tipos de vegetação: arbórea sobre as valas e herbácea (gramíneas) nos três metros que separam uma da outra. Na superfície do solo contaminado entre as valas, é utilizado um "filtro químico" – uma camada de calcário de aproximadamente 2 cm de espessura, que evita que o metal passe para o solo sem contaminação, preservando, assim, a vegetação implantada. (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2007)

O filtro químico de calcário atua elevando o pH para tornar o metal solúvel ou seja, não disponível no solo. (BROOKS, 1998) Os metais não alteram suas propriedades químicas, apenas variam entre as formas insolúveis e solúveis, esta última, a ideal para absorção pela vegetação. Dois fatores são determinantes na seleção das plantas para ocupar a área contaminada: a capacidade de absorção e tolerância aos metais pesados (GLASS,1998).

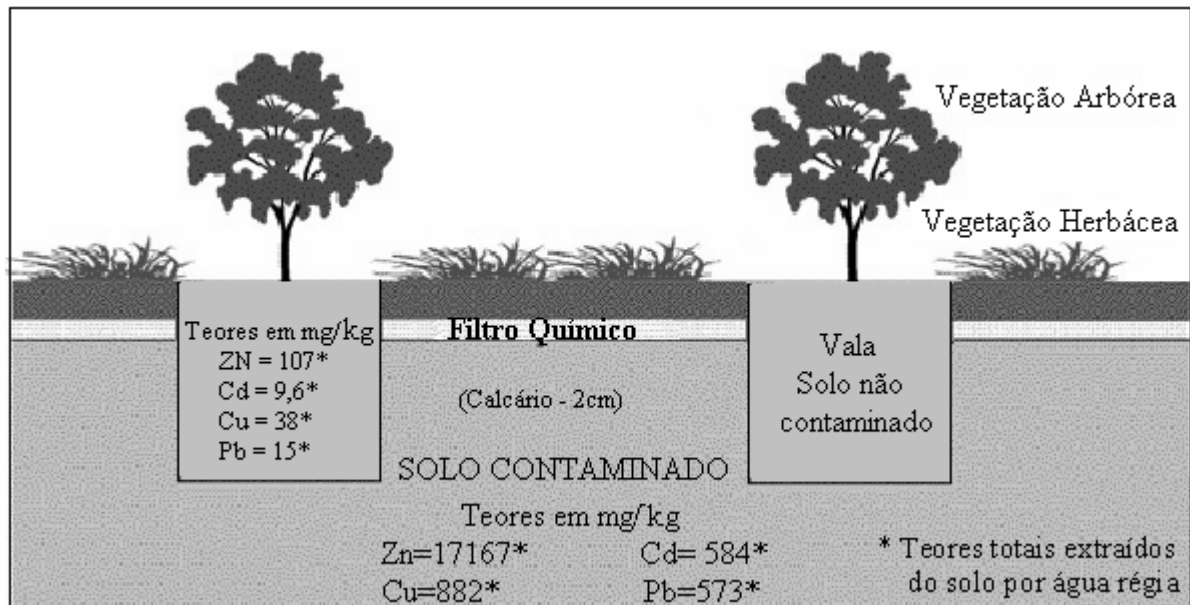


Figura 07 – Aplicação da Fitorremediação em recuperação de solo contaminado.

Fonte: DINARDI, 2003

Ao analisar diversas espécies de árvores, os pesquisadores escolheram aquelas que conseguiam crescer e se desenvolver, mesmo acumulando metal em suas partes. Destacaram-se duas espécies de eucalipto: a *Herbacea pfaffia* (nome comum calaminácea) e uma crucífera, a *Brassica sp.* A *Pfaffia* é uma planta selvagem, rara, hiperacumuladora de cádmio, encontrada nas áreas de mineração da Companhia em vazante. Essa descoberta foi um dos grandes méritos das análises em laboratório. A mesma espécie poderá ser utilizada na recuperação de outros solos contaminados por cádmio. Dessa forma, a erosão e a disseminação dos metais no solo são contidas, mas a área recuperada jamais será própria para uso agrícola. (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2007)

2.2 A PLANTA *CANAVALIA ENSIFORMIS*

A *Canavalia ensiformis*, conhecida popularmente como **feijão-de-porco**, é uma leguminosa de origem americana. É uma planta tropical, da família Fabaceae, amplamente cultivada nos países tropicais como cobertura verde.



Figura 08 - *Canavalia ensiformis*

Fonte: autora

2.2.1 Características

A planta, ereta e anual, desenvolve-se bem em solos ácidos. Suas folhas grandes fornecem boa cobertura. Suas sementes, brancas e graúdas, embora não sejam indicadas para consumo humano, pois contêm fatores antinutricionais, apresentam altos teores de proteína de excelente qualidade, podendo ser comestível: suas folhas são usadas como verdura, e as sementes são cozidas como feijão comum, embora tenha que passar por tratamento prévio para eliminar as várias toxinas da planta. Entre estas estão um aminoácido que destrói células intestinais, diminuindo a adsorção de alimentos e um hemoaglutinante que é usado em laboratórios clínicos. A planta tem também um neurotóxico, porém é destruído por ingestão. Do feijão-de-porco têm sido extraídos os princípios ativos que agem como inseticidas,

herbicidas - a planta apresenta alelopatia - e fungicidas. Recentemente, a Radiobrás anunciou a descoberta, nessa planta, de uma proteína semelhante à insulina.

Possui efeito alelopático, sendo muito usada no controle da tiririca. Não se deve repetir o plantio por muitos anos no mesmo local, pois pode aumentar as populações de nematóides do solo. Portanto, recomenda-se que seja utilizado sempre em rotação de culturas, e realizar o plantio em linhas (40-50 cm), com 6-8 sementes por metro linear ou em covas (duas sementes), a 40-50 cm. (SEPROTEC, 2007)

Seu tamanho chega de 80 a 100 centímetros de altura, apresentando folhas com três folíolos grandes, flores de cores brancas, roxas ou lilases e vagens grandes, retas ou levemente curvas, estas contêm várias sementes grandes de cor branca ou rosada. Nas raízes das plantas, formam-se muitas nodosidades que são facilmente retiradas com a mão, sem que elas se rompam. Essas nodosidades, denominadas nódulos, são formadas em resposta à penetração de uma bactéria do gênero *Rhizobium*, muito útil às plantas. Isto porque, esse tecido formado tem a capacidade de fixar o nitrogênio do ar e depois fornecê-lo à planta. Em troca, a bactéria é beneficiada pela planta, pois irá fornecer todos os nutrientes necessários a sua sobrevivência e reprodução. Essa interação é denominada simbiose. Quando as plantas atingem estágio de formação de vagem, são cortadas e incorporadas ou não ao solo, como adubo verde, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo.

O feijão-de-porco desenvolve-se e produz bem em regiões de clima quente a ameno, solos com boa drenagem e com boa disponibilidade de água durante o ano, embora apresente boa rusticidade. A propagação é por sementes. O ciclo da planta, da semeadura até a colheita, é aproximadamente de 180 dias. (KUROZAWA, 2007)

2.2.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS (KUROZAWA, 2007)

- Nome científico: *Canavalia ensiformis*
- Origem: América tropical
- Altura da planta: crescimento livre até 0,80 m
- Ciclo vegetativo: anual
- Forma de crescimento: rasteiro, trepador
- Palatabilidade: baixa
- Formas de uso: adubo verde

- Proteína no grão: 36,3% proteína bruta (PB) na matéria seca (MS)
- Proteína na forragem: 11,2% PB na MS, na silagem 10,6%
- Produção da matéria seca: 7-9 t MS/ha./ano
- Tolerância a insetos e doenças: tolerante

2.2.3 RECOMENDAÇÕES AGRONÔMICAS

- Fertilidade do solo: acima de baixa fertilidade
- Forma de plantio: semente
- Modo de plantio: em linha ou a lanço
- Sementes necessárias: 100 kg/ha.
- Dormência da semente: inexistente
- Espaçamento: 0,20 x 0,50 m
- Profundidade de plantio: 3 a 5 cm
- Tempo para a utilização: 60 a 90 dias (adubo verde)
- Tolerância à seca: alta
- Tolerância ao frio: baixa
- Toxidez: as sementes contêm o aminoácido canavanina que é convertido em uréia
nível tóxico: 28 g de semente/0,73 kg de peso vivo (bovinos)
- Fertilização: de acordo com as recomendações técnicas determinadas pela análise de solo
- Pureza: mínima 95%
- Germinação: mínima 70% (BOGDAN, 1977)

2.3 POLUIÇÃO DOS SOLOS

2.3.1 Definições

- Pedologia

Ramo da ciência que estuda o solo, “considerando-o como uma parte natural da paisagem [...] tendo como maior interesse [...] sua origem, evolução e classificação”. A denominação para esse método científico deriva do termo grego (*pedon*), que significa ‘solo’. (LEPSCH, 1977)

Ciência que estuda o solo, preocupando-se com sua natureza e identificação das características e dos atributos de diversos solos, com o fim de “agrupá-los em unidades homogêneas, dentro de um sistema de classificação que sirva de referencial para a execução de levantamentos de solos e suas interpretações utilitárias”. (PALMIERI, 2000)

- Solo

A definição de solo encontra-se na dependência do “uso que dele se faz”. (LEPSCH, 1977) Assim

[...] para alguns, solo vem a ser sinônimo de qualquer parte da superfície da Terra e mesmo outros planetas [...] Para o engenheiro de minas, ele é o material solto que cobre os minérios e que necessita ser removido. O engenheiro de obras considera-o matéria-prima para construções de aterros, estradas, barragens e de açudes. [...] O pedólogo e o edafólogo encaram as características do solo com maior atenção e o definem de maneira precisa, empregando método científico. (LEPSCH, 1977)

A Pedologia define solo de forma ampla, abrangendo vários campos do conhecimento e da pesquisa, enquanto corpo composto de massa, formado na natureza e a porção constituinte da superfície do Planeta Terra, com capacidade para suportar plantas. Essa visão exclui como solo a superfície lunar ou aquela que compõe o asfalto de rodovias, embora haja freqüente referência a elas, em linguagem popular, como solo, porque estas não possuem a capacidade de permitir o crescimento vegetal. Estudiosos desses ramos da Ciência apresentam outro conceito para o termo: “[...] coleção de corpos naturais que contêm matéria viva e é resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza durante certo tempo e é influenciado pelo tipo de relevo”. (LEPSCH, 1977)

Para a Ciência Pedológica solo é definido como um “corpo natural dinâmico, composto de horizontes e integrado na paisagem”, assim, pode ser compreendido como a

[...] coleção de corpos naturais, que ocupa posições na superfície terrestre, os quais suportam as plantas, e cujas características são decorrentes da ação integrada do clima e da matéria viva sobre o material originário, condicionado pelo relevo, sobre períodos de tempo. (LEPSCH, 1977)

Entende-se por material originário a “rocha-mãe. Material mineral, a partir do qual um solo se originou. É o estado original do solo”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Nesse contexto, solo também pode ser definido como :

[...] um conjunto de corpos naturais tridimensionais, resultante da ação integrada do clima e organismos sobre o material de origem, condicionados pelo relevo em diferentes períodos de tempo, o qual apresenta características que constituem a expressão dos processos e dos mecanismos dominantes na sua formação [...] é uma parcela dinâmica e tridimensional da superfície, constituído por um conjunto de características peculiares internas e externas, com limites definidos de expressão. (PALMIERI, 2000)

Desta forma, também é possível a seguinte afirmação:

[...] solo é uma camada finamente dividida de minerais e matéria orgânica onde as plantas crescem. Para os humanos e para a maioria dos organismos terrestres o solo é a parte mais importante da geosfera. Embora seja uma membrana fina se comparado com o diâmetro total da terra, é o meio que produz a maior parte da comida que precisam os seres vivos. Um bom solo e clima são os bens mais valiosos que possuem os países. (POLUIÇÃO DO SOLO, 2007)

O solo é um recurso natural, significativo à atividade agrícola, devido a propriedades especiais que lhe permite oferecer sustentação às plantas e condições de desenvolvimento (ANJOS; RAIJ, 2004), isso porque :

[...] trata-se de um material poroso, que possibilita a penetração de raízes e supre as necessidades das plantas em água e em nutrientes minerais [...] propriedades únicas [...] decorrentes do fator biota [...] A existência de organismos vivos – plantas, microorganismos, invertebrados e outros – no solo ou no revestimento vegetal que o recobre é que o diferencia de material geológico não consolidado. (ANJOS; RAIJ, 2004)

O que diferencia o solo da rocha é a matéria orgânica, um de seus principais constituintes, originada no “processo de fotossíntese que transforma gás carbônico, oxigênio, hidrogênio e nutrientes minerais de compostos orgânicos de plantas em vegetais clorofilados”. (ANJOS; RAIJ, 2004)

Os organismos são fundamentais, já que transformam tudo o que cai no solo, como restos vegetais e animais em uma matéria escura, chamada húmus ou simplesmente matéria orgânica, liberando nutrientes e gás carbônico. É a presença de organismos e de matéria orgânica que diferencia o solo do regolito, dando-lhe condições de porosidade e de retenção de água e nutrientes. (ANJOS; RAIJ, 2004)

Com o fator tempo influenciando no desenvolvimento do solo, carbono e nitrogênio, elementos químicos de relevância e que não estão presentes no material de origem, são incorporados à matéria orgânica na forma de compostos orgânicos. Na interação de material de origem e clima o solo adquire características únicas, peculiares a cada combinação dos fatores de formação, isso implica em sua íntima inter-relação com o meio ambiente. (ANJOS; RAIJ, 2004)

Sintetizando-se, é possível a apresentação a seguinte definição para o termo solo:

[...] estreita película, apresentando-se com espessura que pode ir de alguns centímetros a alguns metros, que recobre quase que completamente uma grande parte dos continentes. Muitos dos ecossistemas e dos ciclos biológicos são absolutamente dependentes do solo que, por sua vez, depende de um conjunto de atividades biológicas abundantes e diversificadas [...] corpo natural, tridimensional, complexo e dinâmico. Sua composição físico-química é conferida por seu caráter complexo; os processos de mudanças aos quais é submetido o definem como um corpo dinâmico; estas mudanças, reversíveis ou irreversíveis, podem determinar que um solo seja ou não fértil. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

2.3.2 Intemperismo das rochas

A exposição das rochas da litosfera à atmosfera implica na submissão aos efeitos do calor solar e à ação da água das chuvas. Essa exposição propicia alterações variadas nos caracteres físicos e na composição química dos minerais. Esses processos recebem a denominação de “intemperismo ou meteorização, fenômenos responsáveis pela formação do material que dá origem ao solo”. (LEPSCH, 1977)

2.3.2.1 Intemperismo físico

Também denominado de desintegração, diz respeito aos processos relacionados com a alteração do tamanho e do formato dos diversos minerais que compõem as rochas da Litosfera. Sua ação sobre a composição desses minerais é praticamente nula. (LEPSCH, 1977)

2.3.2.2 Intemperismo químico

Processos envolvidos no intemperismo das rochas, cuja atuação predominantemente ativa, relaciona-se às alterações de sua composição química. Tais processos são conhecidos, ainda, como decomposição. (LEPSCH, 1977)

2.3.2.3 Manto de intemperização

Consiste na rocha depois de sofrer as alterações provocadas pelos intemperismos químico e físico. A rocha nesse estado tem também como denominação o termo ‘regolito’, sendo justamente de sua camada mais superficial que o solo é formado. (LEPSCH, 1977)

A origem do termo ‘manto de intemperização’ encontra-se no fato de que, por consequência dos processos de intemperismos químico e físico, forma-se “uma camada que recobre as que estão em vias de decomposição”.(LEPSCH, 1977)

2.3.3 Horizontes de solo

Horizontes de solo expressam os resultados dos processos e mecanismos de formação do solo, pela diferenciação em camadas mais ou menos paralelas à superfície, de seu material originário, após sua produção e deposição. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Dessa forma, tem por definição: “cada uma das camadas de um mesmo solo, dispostos horizontal ou subhorizontalmente, possuindo características e propriedades diferentes”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA. [200?])

O intemperismo das rochas leva à sua transformação em um material friável que possibilita o surgimento das plantas. A decomposição vegetal dá origem ao húmus. Concomitante a esse processo dá-se o de formação das argilas. Elas sofrem a ação das águas que infiltram no terreno e podem arrastá-las, deslocando-as de uma profundidade para outra. (LEPSCH, 1977)

O termo ‘horizonte de solo’ diz respeito às camadas do solo que possuem aspecto e constituição diferentes, aproximadamente paralelas à superfície e constituem o resultado final de sua formação, que se deu sob a ação de um conjunto de fenômenos biológicos, físicos e químicos, através de um processo lento, que abrangeu centenas de anos. (LEPSCH, 1977)

Esse termo é utilizado para denominar “uma secção constituída de uma série de camadas superpostas”, durante a observação de um corte vertical no solo. (REICHARDT, 1985)

Para a identificação e a diferenciação dos horizontes de solo torna-se necessária a realização de estudo que envolva pesquisas e avaliações realizadas *in locu*, no campo, as quais precisam ser complementadas com análises químicas, físicas e mineralógicas. (PALMIERI; LARACH, 2000)

2.3.4 Constituição

As rochas localizadas na camada superficial da Terra possuem composição mineralógica diversificada e sua alteração físico-química e biológica provoca a desagregação ou fragmentação, e a transformação dos minerais que nela estão contidos. Esses processos atuam de forma simultânea e propiciam o surgimento de um conjunto de materiais de natureza diversa, assim como são diferenciadas sua medida e sua procedência, considerando-se que a água e o ar transportam alguns materiais de um horizonte a outro, os quais percorrem, então, grandes distâncias. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA,[200?])

As partículas contidas no solo, necessárias para o desenvolvimento das plantas, são classificadas em macronutrientes e micronutrientes. No primeiro grupo estão os elementos: nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e o enxofre (S) e no segundo, boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn). (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO-NÚCLEO REGIONAL SUL, 2004)

O boro está presente na forma de borato nos minerais silicatados. Nos solos agrícolas as formas disponibilizadas para as plantas são, em geral, o ânion borato e o ácido bórico. Os solos com elevada intemperização possuem teores pequenos de boro, enquanto naqueles submetidos aos processos salínicos os teores podem alcançar à toxicidade. (TEDESCO, 1995)

Na maioria dos solos o cálcio e o magnésio constituem-se nos principais elementos para a capacidade de troca de cátions. No entanto, em solos ácidos os teores desses elementos são pequenos. (TEDESCO, 1995)

O enxofre encontra-se disponível para as plantas na forma de sulfatos ou adsorvido às argilas e óxidos, sendo encontrado em solos que apresentam boa drenagem. (TEDESCO, 1995)

O ferro é um dos constituintes essenciais do solo podendo existir em formas altamente insolúveis, é o que ocorre em solos alcalinos (e provocando deficiência para as plantas) ou em forma solúvel (Fe^{2+}). Pode apresentar-se, também, em concentrações tóxicas, quando em condições de redução. Os solos ácidos muito arenosos podem apresentar, também, deficiência de ferro.

A presença do hidrogênio é facilitada pela existência de molibdênio em determinados solos. (TEDESCO, 1995)

Cobre e zinco ocorrem nos minerais primários e precipitam com hidróxido, fosfato, carbonato e silicato, sendo constituintes da fração amorfa do solo. Podem formar complexos insolúveis com compostos orgânicos (forma não disponível para as plantas). A disponibilidade para as plantas diminui com o aumento do pH. Deficiências de cobre e zinco são freqüentemente observadas em solos alcalinos. Solos ácidos arenosos ou muito intemperizados podem, também, apresentar deficiências. Esse último caso pode ser exemplificado pelo solo encontrado no cerrado brasileiro, situado em sua região Centro Oeste. (TEDESCO, 1995)

Nos solos utilizados para a agricultura, geral e presumivelmente, todos os elementos necessários ao crescimento das plantas estão presentes, além de outros não essenciais ou tóxicos. Porém, o teor total destes elementos não condiz, na grande maioria das vezes, com a disponibilidade para as plantas. Esse fenômeno ocorre porque grande parte dos nutrientes encontra-se nas formas insolúveis ou de dissolução lenta (minerais primários, secundários e compostos de alta estabilidade). (TEDESCO, 1995)

O nitrogênio pode ser encontrado na natureza na forma de gás (N_2), nesta forma, pouco reage ou combina com outros elementos, notadamente, ao oxigênio, ao hidrogênio e ao carbono em ligações covalentes. (TEDESCO, 1995)

Nos solos em geral, cerca de 90% do nitrogênio tem origem nas transformações sofridas pelo material orgânico, principalmente no que se relaciona à biodegradação de plantas e animais mortos. O nitrogênio inorgânico, algumas vezes, pode apresentar-se hidrolisado como o NH_4^+ podendo, nesse caso, ser oxidado pela ação bacteriana para NO_3^- (POLUIÇÃO DO SOLO, 2007)

Alguns solos podem conter NH_4^+ , dito ‘fixado’ ou não trocável nos minerais de argila. (TEDESCO, 1995)

É comum que a presença de NO_2^- ocorra em quantidades extremamente pequenas na maioria dos solos. No entanto, em solos alcalinos pode-se encontrar seus teores bastante elevados, podendo estes atingir níveis tóxicos para as plantas, no caso de um processo de

adubação com substâncias amoniacais. (TEDESCO, 1995) O carbono é encontrado no solo nas formas inorgânicas (carbonato e bicarbonato) e orgânicas. Em solos ácidos não calcariados recentemente não se observam quantidades apreciáveis desse elemento na forma inorgânica. O orgânico, por sua vez, é constituído por microorganismos, húmus estabilizado, resíduos vegetais e animais em vários estágios de decomposição e carbono inerte (carvão vegetal e ou mineral). (TEDESCO, 1995)

O solo é formado, também, por metais como o cobalto, o selênio, o chumbo, o cádmio, o níquel, o mercúrio, o arsênio, entre outros.

2.3.4.1 Porções constituintes do solo

A compreensão acerca da forma como se constitui o solo tem por base o pressuposto de que ele forma-se como um sistema aberto estruturado a partir de três fases: sólida, líquida e gasosa. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

“O solo está constituído por uma mistura variável de minerais, matéria orgânica e água, capaz de sustentar a vida das plantas na superfície da terra. É o produto final da ação de decaimento dos processos físicos, químicos e biológicos sobre as rochas”. (POLUIÇÃO DO SOLO, 2007)

- Fração sólida

A parte sólida do solo é formada por matéria mineral e orgânica, sendo que a primeira advém da rocha original de formação desse solo. É chamada primária, quando ainda possui a estrutura e composição da rocha ou dos minerais constituintes dela. Essa matéria mineral pode ser denominada de secundária, quando é nova, resultante da decomposição e possuindo estrutura diferente, cuja formação deu-se de forma concomitante a do solo. Quando primária essa matéria constitui-se de fragmentos de rocha ou mineral (quartzo e feldspato, por exemplo): as secundárias podem ser exemplificadas pelas argilas montmoriloníticas e caolínicas e pelo carbonato de cálcio. (REICHARDT, 1985)

“A fração sólida do solo produtivo típico está formada por aproximadamente 5% de matéria orgânica e 95% de matéria inorgânica”. (POLUIÇÃO DO SOLO, 2007)

Nessa fase, o contato entre as diversas partículas minerais e componentes orgânicos, elementos principais em sua constituição, propicia a existência de série também

diversificada de espaços vazios que determinam sua porosidade. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Sob a ótica qualitativa essa porção constituinte do solo pode ser dissociada em quatro sub-frações, a saber: matéria primária, óxidos e sais, matéria orgânica e matéria secundária. (REICHARDT, 1985)

Materiais primários:

Reichardt, 1985 apresenta a seguinte descrição qualitativa das espécies de materiais primários existentes no solo, procurando identificar sua composição química aproximada:

Tabela 03 - Composição química dos principais materiais primários do solo.

MINERAL	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)							
	SiO ₄	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Outros
Quartzo	100	-	-	-	-	-	-	0
Ortoclase	64	19	-	1,5	-	12	-	3,5
Albita	65	23	-	4,5	-	2	-	5,5
Anortita	42	33	-	15	-	1	-	9
Muscovita	45	35,5	1	-	1,5	9,5	-	7,5
Biotita	34,5	21	10	1	11	7,5	-	15
Hornblenda	48	9,5	3	7,5	14	1	-	17
Argita	50	8,5	3	21	13	-	-	4,5
Olivina	39	-	1,5	-	40	-	-	19,5
Apatita	-	-	-	54,5	-	-	41	4,5
Magnetita	-	-	69	-	-	-	-	31

Fonte: Adaptado de REICHARDT, 1985

Essa análise qualitativa das espécies de materiais primários do solo permite a constatação de que existem nele, em abundância, elementos nutrientes como Ca, Mg, K, Fe, a menor frequência na presença do fósforo (P) e ausência de macro-nutrientes N e S e dos micro-nutrientes Cu, Zn, Co, Mo e B. (REICHARDT, 1985)

Os óxidos, carbonatos e sulfatos podem conter elementos nutrientes, sendo exemplos: Ca, Mg, S e Fe. No entanto, na presença de carbonatos, estes, provavelmente, são mais importantes como tampões de pH. A importância dos óxidos de ferro encontra-se em sua

capacidade de cementação (formação de agregados) entre as partículas. Os óxidos e hidróxidos de Fe e Al encontram-se em diversos tipos de solos, apresentando tanto a forma cristalina, quanto a amorfa. Encontra-se na dependência do pH externo e da concentração salina da solução do solo o início do processo que são capazes de determinar, ou seja, a dissociação de grupos H^+ ou OH^- . Isso os torna eletricamente carregados e capazes de adsorverem cátions e ânions em pontos de carga negativa e positiva, respectivamente, e assim contribuírem para a capacidade de troca iônica. (REICHARDT, 1985)

As plantas encontram nutrientes na matéria orgânica que é fonte de N, S e P. Seu conteúdo, na maioria dos solos, varia entre 1 a 10%. A matéria orgânica também possui superfície reativa devido à dissociação de grupos $COOH$, OH e NH_2 , produzindo ainda, complexos como Fe, Mn, Ca, Mg e outros. (REICHARDT, 1985)

- Fração líquida

Essa fase está constituída por uma solução de sais minerais e componentes orgânicos, cuja “concentração varia de solo para solo e, certamente, com seu teor de água”. (REICHARDT, 1985)

Assim, constitui-se de material dissolvido que tem como origem os processos químicos e bioquímicos no solo e de trocas entre a biosfera e a atmosfera. Este meio transporta as espécies químicas, desde e até as partículas de solo, constituindo-se também, na via fundamental para a troca de nutrientes entre as raízes e o solo sólido. (POLUIÇÃO DO SOLO, 2007)

A água nessa porção está retida, em sua maior parte, nos poros formados pelo contato entre partículas minerais e componentes orgânicos. (POLUIÇÃO DO SOLO, 2007)

Na solução aquosa de substâncias orgânicas e sais minerais que compõe o solo, estes últimos elementos são os mais importantes. (REICHARDT, 1985)

Entre os inúmeros fatores que influenciam na disponibilidade de elementos nutrientes ao solo, o pH dos solutos nele contidos pode influenciar na solubilização ou precipitação desses elementos. (ZOCHE, 2002)

Usualmente, a solução do solo não se constitui no reservatório dos íons nutrientes, exceto para o cloro e talvez o enxofre, que não são adsorvidos pela fração sólida ou incorporados à matéria orgânica. Ocorre interação, constante e complexa entre a fração sólida, que é um reservatório de íons e a fração líquida, determinada “por produtos de solubilidade constante de equilíbrio, etc. Devido a isto, a descrição da concentração da solução do solo

torna-se difícil e apenas valores médios e aproximados podem ser obtidos”. (REICHARDT, 1985)

- Fração gasosa

Formada pelo ar com composição um pouco alterada, apresentando diversidade de outras variações, devido a inúmeros fatores. Geralmente a quantidade de O_2 é reduzida, quando comparada com a de ar sobre o solo. A quantidade de CO_2 é maior. A ocorrência desses fenômenos deve-se às atividades biológicas que ocorrem no solo, determinantes também, da saturação ou níveis muito próximos a esse estado, no que concerne à umidade relativa em condições naturais. (REICHARDT, 1985)

O ar do solo ocupa o espaço poroso não ocupado pela água. Junto à superfície do solo sua composição química assemelha-se à da atmosfera livre, apresentando diferenças, principalmente, nos teores de O_2 e CO_2 . O oxigênio é consumido por microorganismos e pelo sistema radicular das plantas superiores, de tal forma que sua concentração é menor do que na atmosfera livre. Ao contrário, o CO_2 é liberado em processos metabólicos que ocorrem no solo e, por isso, seu teor é geralmente mais alto. As atividades biológicas do solo podem alterar a composição dos gases orgânicos e dos inorgânicos. (REICHARDT, 1985)

Um solo, quando bem estruturado, possui adequada quantidade de poros, cujas dimensões são relativamente grandes, sendo que a macroporosidade facilita a penetração de raízes das plantas, a circulação de ar e a infiltração de água. (REICHARDT, 1985)

A troca de gases e seu movimento no solo ocorrem mediante dois mecanismos. No primeiro ela se dá na fase gasosa, pela difusão ou pelo transporte de massa através do vento, em poros não ocupados por água, interconectados e em comunicação com a atmosfera. No segundo ocorre através da água, quando esses gases estão dissolvidos. Como a difusão dos gases no ar é geralmente maior que na fase líquida, a porosidade livre de água torna-se bastante importante na aeração. (REICHARDT, 1985)

A composição de ar do solo depende das condições de aeração. Nos solos com boa aeração não ocorrem diferenças significativas, se comparado ao ar atmosférico, exceto por uma unidade relativa que, quase sempre, é próxima à saturação. Quando as condições de aeração apresentam-se limitadas, pode ocorrer aumento da concentração de CO_2 e redução da concentração de O_2 , de forma drástica em ambas as situações. (REICHARDT, 1985)

2.3.4.2 Constituintes inorgânicos

Os processos de intemperismo físico e químico são responsáveis pela formação dos materiais do tipo inorgânico, encontrados na fase sólida do solo. Estes materiais são principalmente, os silicatos, os óxidos e os hidróxidos metálicos, alguns solos há aluminossilicatos amorfos, em outros carbonatos ou sulfatos e, mais raramente, cloretos, fosfatos ou sulfuretos. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A quantidade de cada mineral depende da incidência de dois fatores: o tipo de material a partir do qual o solo foi formado e os processos edafogênicos atuantes em sua gênese. O tamanho das partículas de cada horizonte relaciona-se ao grau de intemperismo dos minerais, de modo que existe relação entre as frações granulométricas e a natureza mineralógica dos componentes. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Os solos em geral apresentam o nitrogênio inorgânico na forma de NH_4^+ e NO_3^+ . Geralmente, o NO_2^- ocorre em quantidades muito pequenas (em solos alcalinos pode-se encontrar NO_2^- em níveis tóxicos para as plantas após uma aplicação de adubos amoniacais).

Na maioria dos solos, cerca de 90% do nitrogênio tem origem nas transformações sofridas pelo material orgânico, principalmente, no que se relaciona à biodegradação de plantas e animais mortos. Algumas vezes pode apresentar-se hidrolisado como o NH_4^+ podendo, nesse caso, ser oxidado pela ação bacteriana para NO_3^- . (POLUIÇÃO DO SOLO, 2007)

- Silicatos

Os silicatos são os principais constituintes minerais do solo. Representam 95% do peso dos materiais que formam a superfície da Terra. Os silicatos são constituintes das rochas ígneas, das metamórficas e de algumas sedimentares. Existem em grandes quantidades, porque são compostos por elementos majoritários da superfície da Terra, a qual contém 47% de oxigênio, 28% de silício e 8,2% de alumínio. Além disso, suas formações cristalinas são muito estáveis. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

As estruturas silicatadas possuem como estrutura básica figuras tetraédricas, sendo exemplos poliedros de coordenação com quatro átomos de oxigênio por um de silício (SiO_4)⁴⁻. Devido às diferenças de graus de polimerização dessas estruturas, podem ser identificados diferentes tipos de silicatos. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- Minerais de argila do solo

A argila, o silte e a areia formam a ‘matriz sólida’ do solo. As variações de formas e dimensões dos poros do solo lhe propiciam um comportamento peculiar, sendo que a fração dele que mais decisivamente determina seu comportamento físico é uma matéria secundária: a fração argila. A mesma possui a maior área específica (área por unidade de massa) o que lhe confere a capacidade de ser a fração mais ativa em processos físico-químicos, ocorridos no solo. Uma vez que a areia e o silte têm áreas específicas relativamente pequenas, conseqüentemente, não mostram grande atividade físico-química. (REICHARDT, 1985)

A absorção de água promovida pela argila, torna essa fração responsável pelos processos de expansão e contração nas situações em que um solo absorve ou perde água. Como a maioria dessas frações é carregada negativamente, formam uma ‘camada eletrostática dupla’ com íons de solução do solo e mesmo com moléculas de água que são dipolos, são importantes na macroporosidade do solo onde predominam fenômenos capilares. (REICHARDT, 1985)

A argila é formada por partículas de diâmetro menor que dois microns, compreendendo um grande grupo de minerais. Alguns deles são amorfos, no entanto grande parte é constituída de micro-cristais de tamanho coloidal e estrutura definida. (REICHARDT, 1985)

As argilas possuem carga elétrica negativa na maioria dos casos, sendo que a quantidade de carga e sua distribuição espacial dependem do tipo de argila é no processo de sua formação que se dá essa determinação. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Os grupos de minerais derivados de argilas que apresentam maior interesse à mineralogia são as caulinitas, esmectitas, vermiculitas, argilas micáceas e cloritas. Outras dessas estruturas, também, despertam o interesse mineralógico, embora com menor importância e que são as argilas interestratificadas e as pirofilitas ou minerais fibrosos. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

O potássio ativa certas enzimas, fator relevante no balanço de água para as plantas, e geralmente, é encontrado disponível para elas na forma de minerais argilosos. (POLUIÇÃO DO SOLO, 2007)

- Micas

Essas estruturas constituem-se em minerais que se assimilam às argilas por serem, também, filossilicatos. Caracterizam-se por possuírem unidades estruturais do tipo tri ou

dioctaédrica, com um importante grau de substituição isomorfa em camadas tetraédricas e organização no espaço estratificado. Entretanto, sua capacidade de troca de cátio apresenta-se baixa. As duas espécies mais típicas são as muscovita e a biotita. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- Minerais não silicatados

Esses minerais podem ser assim identificados: (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA,[200?])

- . carbonatos: aragonita, calcita, dolomita e magnesita;
- . cloretos: cloreto de cálcio e halita;
- . fosfatos: apatita, estrengita, variscita e vivianita;
- . sulfatos: epsomita, gesso, mirabilita e tenardita;
- . sulfetos: macassita e pirita, e
- . óxidos e hidróxidos: bohemita, gibbsita, hematita, goethita e rutílio

São componentes inorgânicos, com significativa relevância para o solo, podendo ser assim exemplificada:

. CO_3^{2-} ou carbonatos e SO_4^{2-} ou sulfatos: existentes em solos áridos e semi-áridos em quantidades relevantes, sendo exemplos a calcita e o gesso;

. Cl^- ou cloretos (notadamente a halita); Na_2SO_4 ou sulfatos de sódio (mirabilita e tenarlita) e o Mg SO_4 ou sulfato de magnésio (epsomita): presentes em solos submetidos aos processos de salinidade;

. PO_4^{3-} ou fosfatos e NO_3^- ou nitratos: que não são comuns no solo e precisam ser adicionados através de adubação e

. óxidos e hidróxidos de ferro também são importantes no processo de coloração do solo. No entanto, óxidos e hidróxidos de alumínio e de outros minerais, adquirem menor importância, porque não são comuns no solo.

Os fosfatados para serem utilizado pelas plantas devem encontrar-se na forma inorgânica simples, sendo que as espécies utilizáveis estão na forma de íon ortofosfato H_2PO_4 .

Os carbonatos são minerais pouco estáveis e característicos de zonas áridas e semiáridas. Apresentam um grupo CO_3^{2-} que, facilmente, reage com íons ácidos. Essa reação costuma ser o parâmetro para identificação dessas estruturas no solo, que são incolores,

brancas ou apresentam pouca coloração. Por esse motivo, solos com grandes quantidades de carbonatos possuem coloração clara.

Sulfatos possuem o grupo aniônico SO_4^{2-} e as espécies mais comumente encontradas nos solos são o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e a anidrita (CaSO_4). Essas duas espécies apresentam a capacidade de transformarem-se uma na outra pelos processos de hidratação ou de desidratação. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

O cloro está presente no solo, principalmente, na forma de cloreto. Este íon é muito móvel e tem a capacidade de indicar a qualidade de águas de irrigação, lixiviação de sais, contaminação ambiental e outros. (TEDESCO, 1995)

Os cloretos são minerais muito solúveis e quando em grandes quantidades prejudicam as plantas. Frequentes em solos submetidos aos processos de salinidade, concentram-se na superfície, o que faz com que o solo apresente eflorescências esbranquiçadas, que caracterizam este tipo de terreno. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

2.3.4.3 Constituintes orgânicos

Mesmo que corresponda apenas a 5% de um solo produtivo típico, a matéria orgânica determina a produtividade de um solo, servindo como fonte de alimento para os microorganismos existentes nele. Esse material sofre reações químicas como troca iônica e tem influência sobre as propriedades físicas do solo. Alguns compostos orgânicos facilitam a decomposição de material mineral, auxiliando no processo de formação dos diversos solos. (POLUIÇÃO DOS SOLOS, 2007)

O material orgânico é formado pela biomassa morta, cuja origem é os vegetais, os microorganismos e a fauna. Ao finalizar seu ciclo vital, a biomassa encontra-se formada por restos depositados na superfície ou no interior do solo, decompondo-se lentamente. Os microorganismos do solo transportam suas excreções e sua própria biomassa. Se o solo for cultivado, também, ocorrerá acréscimo de matéria orgânica, procedente dos processos de adubação. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A relevância da atuação dos organismos encontra-se em sua capacidade de transformação de todo material depositado sobre o solo em matéria orgânica. Com isso, há liberação de nutrientes e gás carbônico, sendo que a presença desses organismos constitui-se no fator diferencial entre solo e regolito. (ANJOS; RAIJ, 2004)

O material orgânico é transformado por uma série de processos, sofrendo influência da fauna, originando uma série de produtos simples como H_2O , NH_3 , CO_2 , K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , P O_4^{3-} e outros. Além destes, também há formação de compostos quimicamente complexos, que possuem coloração escura, o húmus.

O acúmulo de restos de vegetais em ambiente pobre em oxigênio faz com que a atividade bacteriana torne-se insuficiente para a decomposição completa da matéria orgânica. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A acumulação de material orgânico no solo sofre grande influência do fator temperatura e da disponibilidade de oxigênio. Com a diminuição da temperatura há redução na taxa de biodegradabilidade, por isso a matéria orgânica não se degrada rapidamente em climas frios, nestes a tendência é de sua acumulação sobre o solo. Em solos saturados a vegetação em decomposição não tem acesso fácil ao oxigênio e a matéria orgânica tende a acumular-se sobre o terreno. (POLUIÇÃO DOS SOLOS, 2007)

Na grande maioria dos solos os teores de matéria orgânica dificilmente atingem 5%, sendo que em sistemas onde há equilíbrio o teor de matéria orgânica no solo apresenta-se constante, refletindo a harmonia entre a adição de restos orgânicos de seres vivos e a decomposição por mineralização. (ZOCHE, 2002)

Existem, basicamente, dois tipos de matéria orgânica. A primeira é denominada de fresca ou de matéria orgânica não humificada, formada pela biomassa senescente vegetal e animal e pela microbiana. A segunda é conhecida como matéria orgânica, transformada em húmus, formada por substâncias não húmicas: materiais orgânicos simples como açúcares e aminoácidos e outros complexos que possuem elevado peso molecular como os polissacarídeos e as proteínas, sendo formada, também, por substâncias húmicas completamente estruturadas.

O húmus é composto por uma mistura de materiais orgânicos formados por substâncias não húmicas como açúcares, aminoácidos, polissacarídeos, proteínas e outros, também substâncias húmicas em sentido estrito. A heterogeneidade de seus componentes, a formação de complexos com a matéria mineral (complexos argilo-húmicos e complexos organo-metálicos) e sua natureza polimérica dificultam as análises relacionadas com sua composição química. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA,[200?])

2.3.4.4 Complexos organominerais

O húmus tem capacidade para a formação de complexos queláticos extremamente fortes com íons minerais, particularmente em condições de pH elevado. A estabilidade dos complexos organominerais aumenta com o pH, sendo que essa associação é consideravelmente estável sob condições levemente ácidas e alcalinas. (ZOCHE, 2002)

Os argilo-húmicos e os organometálicos são estruturas comuns nos solos, resultantes da união de compostos orgânicos com compostos minerais, apresentando naturezas e estabilidades diferenciadas. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Os complexos argilo-húmicos são formados por uma porção de húmus e outra de minerais de argila, tendo como resultado estruturas com tamanho relativamente grande, que possuem como característica a insolubilidade. São importantes na formação estrutural do solo, agindo como cimento na formação de microagregados e na estabilização da matéria orgânica. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Os complexos organometálicos resultam das uniões de cátions ao grande número de grupos funcionais da matéria orgânica. Seu tamanho é relativamente pequeno, no entanto possui importância em processos de translocação, assim como de imobilização de minerais altamente contaminantes. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

2.3.5 Propriedades

- Textura

As partículas sólidas do solo variam em qualidade e tamanho de forma significativa. No que concerne ao tamanho, algumas apresentam dimensões que permitem a observação a olho nu, enquanto outras se apresentam tão reduzidas que suas propriedades estão na forma coloidal. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

O termo 'textura' está relacionado com a distribuição das partículas do solo, cuja metodologia de análise restringe-se ao seu tamanho. Cada solo recebe uma designação referente à sua textura, designação esta que indica o tamanho das partículas mais frequentes. Usualmente, as ciências do solo classificam o solo em três frações de tamanho, chamadas frações texturais: areia, silte e argila. O solo submetido à análise textural tem determinadas suas quantidades relativas a cada uma dessas frações, recebendo uma designação que o classifica de acordo com determinada classe textural. Dessa forma, conforme as proporções

de areia, silte e argila contidos no solo, os mesmos recebem diferentes denominações. (REICHARDT, 1985)

No Brasil, estão estabelecidas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, quatro classes texturais para os solos de seu território: (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

.textura arenosa: apresentam teores de argila menores que 15%;

.textura média: seus teores de argila encontram-se entre 15 e 35%, apresentando também areia (15%);

.textura argiloso: possui teores de argila que oscilam entre 35 – 60% e

.textura muito argilosa: contém teores de argila maiores do que 60%.

Os processos granulométricos permitem a determinação das proporções relacionadas às diferentes partículas minerais. Estas possuem tamanho inferior a dois milímetros, agrupadas após a destruição dos agregados por classes de tamanhos em frações granulométricas. No entanto, esses processos não são capazes de estabelecer limites claros entre cada uma das frações texturais que compõem o solo. Por isso, são adotados critérios para o estabelecimento de tais proporções, semelhantemente aos usados pelos edafólogos, estabelecidos pela *International Society of Soil Science (ISSS)* e pelo *United States Department of Agriculture (USDA)*. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Na determinação da granulometria é necessário separar as partículas individuais do solo em frações distintas, que apresentam propriedades físico-químicas diferenciadas, desde os colóides [$<0,002$ mm] até calhaus [>20 mm]. A separação das frações mais grossas, calhaus [>20 mm] e cascalhos [20 a 2,0 mm] são feitos por tamização. A fração com partículas menores de 2,0 mm constitui a terra fina seca ao ar [TSFA]. Esta, conforme classificação adotada no Brasil, admite as seguintes subdivisões: areia grossa [2,0 a 0,2 mm], areia fina [0,2 a 0,053 mm], silte [0,053 mm a 0,002 mm] e argila [$< 0,002$ mm]. (TEDESCO, 1995)

Com a utilização de processos que envolvem sistemas iguais aos de triângulos texturais ou diagramas triangulares, torna-se possível a determinação das diferentes classes texturais do solo, no que diz respeito às proporções de areia, silte e argila de cada uma das escalas de medidas, conforme o agrupamento das partículas em função da medida e dos resultados, expressos em porcentagem no peso das três frações. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

O solo apresenta comportamento que está de acordo com a ação combinada das três frações que o compõe, as quais por sua vez, interagem entre si e com a matéria orgânica.

As diversificadas significações das várias frações granulométricas estão relacionadas às dimensões, ao número e às superfícies específicas de suas partículas. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Considerando que a quantidade de superfície varia de forma inversamente proporcional ao tamanho das partículas, o quadro abaixo identifica as propriedades das frações texturais: (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Tabela 04 - Propriedades texturais

	Arenosa	Franca	Argilosa
Permeabilidade	Alta	Média	Baixa
Superfície específica	Baixa	Média	Alta
Temperatura (na primavera)	Quente	Morna	Fria
Armazenamento de nutrientes	Baixa	Média	Alta
Quantidade de água retida	Baixa	Média	Alta
Força de retenção	Baixa	Média	Alta

Fonte: FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?]

O comportamento das partículas grossas restringe-se à atividade reduzida, apresentando baixa superfície específica e, comumente, resistência ao intemperismo. Estas matérias que possuem grandes dimensões, entretanto têm atuação determinante no comportamento do solo, principalmente, no caso de sua presença dar-se em grandes proporções. Este fenômeno constitui-se freqüente em condições áridas e semi-áridas e em territórios montanhosos nos quais há maior facilidade para a ocorrência de fragmentação ou intemperismo físico, do que o químico. Quando elementos grossos predominam no horizonte, o solo atua como um filtro frente à água, retendo-a. No entanto, a predominância desses elementos diminui as possibilidades para a introdução de nutrientes. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- Estrutura

Na natureza, as partículas de areia, silte e argila encontram-se unidas através de partículas compostas, denominadas de agregados ou torrões. A estrutura indica “o aspecto do conjunto dos torrões que aparecem naturalmente no solo. Eles têm formatos e tamanhos variados e estão separados uns dos outros por pequenos fendilhamentos.” (LEPSCH, 1977)

Assim, a estrutura do solo traduz-se enquanto resultante da “organização espacial das partículas elementares: areia, silte e argila, em unidades compostas de medidas maiores [...] unidades estruturais [...] separadas umas das outras por superfícies fragmentáveis”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

O arranjo do solo na presença de agregados determina diferenças ao seu comportamento, este se diferencia daquele que teria, no caso de uma organização individualizada para uma mesma proporção de partículas. (LEPSCH, 1977)

O termo estrutura indica o processo de descrição do solo no que tange a arranjo, orientação e organização das partículas sólidas. Além disso, estabelece a geometria dos espaços porosos. O arranjo das partículas do solo é muito complexo para que se possa caracterizá-lo geometricamente de forma simplificada, por isso o conceito de estrutura restringe-se ao âmbito qualitativo, porque não existe método prático para a mensuração estrutural de um solo. (REICHARDT, 1985)

Os agregados, atualmente, são considerados unidades estruturais do solo não provenientes de processos artificiais como o cultivo, enquanto o torrão seria o resultado da junção de partículas, num processo influenciado por processos relacionados à agricultura. Nesse sentido, os processos naturais propiciam o “[...] agrupamento das diferentes partículas, como consequência de sua floculação e posterior cimentação, cuja característica é sua estabilidade frente à água”. (LEPSCH, 1977)

Em seu processo de formação os agregados promovem a floculação das argilas e sua posterior estabilização ou cimentação. Analisada com um microscópio a estrutura de um solo apresenta um esqueleto que é formado pela composição da areia e silte e um cimento. Este recobre os agregados como uma espécie de rede. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Nesse contexto, a análise da estrutura dos agregados inclui a consideração de indicadores específicos, como a superfície de debilidade, traduzida pelo grau de desenvolvimento da estrutura: a forma dos agregados, indicada pelo tipo de estrutura; seu tamanho, correspondendo à sua classe de estrutura; a dureza e a friabilidade dos agregados; bem como sua persistência, especificada pela estabilidade dos agregados; os mecanismos atuantes na formação de agregados e a porosidade que apresentam no que tange à distribuição e a conexões. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA [200?])

- Água do solo

O solo é capaz de reter e armazenar água por um determinado tempo. Ela é utilizada pelas plantas e sua reposição, feita pelas chuvas ou irrigação. Essa retenção líquida pode dar-se tanto nos poros, como entre torrões e na superfície das partículas coloidais. De acordo com o conteúdo e a natureza da retenção de umidade, os estados de solo podem ser classificados como: molhado, úmido e seco. (LEPSCH, 1977)

No solo molhado há preenchimento total dos poros com água e, praticamente, ausência absoluta de ar. Quando não há interferência nos mecanismos da natureza, após a totalização do preenchimento de todos os poros com água e tendo findado seu fornecimento, serão necessários apenas alguns dias para que o líquido contido nos poros maiores seja drenado para baixo e às vezes, também, lateralmente. Assim, transferindo-se para partes mais profundas ou ainda, juntando-se ao lençol d'água subterrâneo, auxiliando para o aparecimento de nascentes. “Essa água é denominada gravitacional, porque se infiltra no solo sob a ação da gravidade”. (LEPSCH, 1977)

A água renova-se no mundo dentro de um ciclo, conhecido como ciclo hidrológico. Com o calor produzido pela insolação, a água evapora-se dos mares e das águas continentais, chegando à atmosfera, onde forma nuvens que logo se precipitam [chuva, neve, granizo]. Uma vez sobre o continente, parte desta água escorre superficialmente [rios], enquanto o restante, em maior proporção, infiltra-se [águas subterrâneas] chegando desta forma novamente aos lagos, lagoas e oceanos, dos quais volta a evaporar-se. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Dessa forma, constata-se os estudiosos que o ciclo da água está relacionado ao ciclo hidrológico desta na biosfera, pelo entendimento de como ocorrem os processos de condução, de perda e da variação dessa reserva.

A infiltração corresponde a água que alcança o solo e forma os lençóis d'água, alimentando os corpos d'água da superfície, notadamente, nos períodos secos. A urbanização torna um solo menos impermeabilizado. Um solo que possui boa cobertura vegetal apresenta boa permeabilidade, e funções importantes são melhores desempenhadas. Essas funções consistem na menor ocorrência de escoamento superficial, indicando que há menor incidência de enchentes nos períodos chuvosos; maior infiltração com alimentação ideal para rios nos períodos secos; e finalmente, menores processos de carregamento de partículas do solo para cursos d'água. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A disponibilidade de água para as plantas é tão importante, quanto o conteúdo dela em um solo. Neste, por sua vez, várias forças intervêm e a atuação delas sobre a água

determina seu potencial, sendo que comportamento e disponibilidade desta água são determinados por todos esses campos de forças atuantes. A ação destas forças, por outro lado, corresponde à propriedade de energia potencial da água do solo, a qual diz respeito às forças gravitacionais que implicam no movimento descendente, aos processos de evaporação e de absorção das raízes, determinantes do movimento ascendente da água e às forças matriciais responsáveis pela retenção de água no solo, as quais consistem nas “[...] forças de adsorção superficial direta das moléculas sólidas, pelas forças de capilaridade e osmóticas [por uniões osmóticas da água sob duplas camadas difusas]”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A água do solo, da planta, da atmosfera, etc, assim como qualquer corpo na natureza, pode ser caracterizada por um estado de energia. Diferentes formas e quantidades de energia determinam este estado. A física clássica reconhece duas formas principais de energia, a cinética e a potencial. Como o movimento de água nas diferentes partes do sistema solo-planta-atmosfera é muito lento, sua energia cinética, que é proporcional ao quadrado da velocidade, é na maioria dos casos, desprezível. Por outro lado, a energia potencial, que é uma função da posição e condição interna da água no ponto em consideração, é de primordial importância na caracterização de seu estado de energia. Este estado de energia da água é descrito pela função termodinâmica energia livre de Gibbs, que recebe o nome particular de potencial total da água. (REICHARDT, 1985)

O solo úmido contém ar nos macroporos ou poros com diâmetros superiores a 0,05 mm, e água nos microporos, menores do que 0,05 mm. Os poros menores funcionam como tubos capilares e a água está retida no solo com tal força, que consegue manter-se mesmo contra a ação da gravidade. Mas esta força não é tão grande a ponto de impedir as raízes de extraí-la, representando, portanto um armazenamento disponível às plantas. (LEPSCH, 1977)

Nem todos os solos têm a mesma capacidade de armazenar água. Ela varia em função de várias características, tais como textura, estrutura e conteúdo de matéria orgânica. Solos arenosos e com pouco húmus têm menor capacidade de armazenar água do que os solos argilosos ou barrentos, ricos em húmus. (LEPSCH, 1977)

Mesmo em condições adversas como estar “seco ao ar, o solo pode conter ainda, certa quantidade de água sob a forma de películas extremamente finas, ao redor das partículas coloidais”. A retenção de água, nesse caso, consiste em uma força superior à capacidade de

extração das raízes e por essa razão, é considerada inativa sob o ponto de vista edafológico. (LEPSCH, 1977)

“Aparentemente simples, a água é um dos corpos mais complexos do ponto de vista físico e químico, pois é muito difícil obtê-la em estado puro, além de apresentar um maior número de anomalias em suas constantes físicas”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- A reação e o pH do solo

A concentração de hidrogênio iônico na solução do solo é expressa pelo símbolo pH, em que a letra ‘p’ refere-se ao potencial e ‘H’ ao hidrogênio. A escala do pH situa-se em uma escala de zero a catorze, sendo que sete constitui-se no ponto médio, considerando que o pH é neutro. Assim, “acima de 7 é a faixa *alcalina* e abaixo de 7 a faixa *ácida*”. (LEPSCH, 1977)

A acidificação pode ser natural ou antrópica. Assim, no primeiro caso os solos “podem ser naturalmente ácidos, ou porque os materiais de origem são pobres em cátions básicos, ou devido a condições de pedogênese ou de formação do solo que favorecem a remoção de elementos químicos do solo”. (ANJOS; RAIJ, 2004)

O principal fator determinante da acidez do solo consiste na nitrificação do amônio, cuja reação introduz a acidez representada pelo íon hidrogênio (H^+) e deixa em solução o ânion nitrato (NO_3^-). (ANJOS; RAIJ, 2004)

A definição de ‘acidez do solo’ inclui o fato de constituir-se como “[...] consequência da propriedade de troca de cátions, abrangendo os principais elementos associados”. (ANJOS; RAIJ, 2004)

A capacidade de troca de cátions [CTC] dos solos é representada por uma parte ácida e uma básica, considerando os cátions que se contrapõem às cargas elétricas negativas da superfície das partículas de solo. A parte básica, resultante da soma de bases [representada por SB] é dada pela soma dos cátions trocáveis de cálcio, magnésio, potássio e sódio. A saturação por bases tem uma relação muito estreita com o pH. Assim, no processo de acidificação, ocorre a perda de bases do solo, com a redução da saturação por bases e do pH. (ANJOS; RAIJ, 2004)

A acidez do solo é uma propriedade importante, pois tem influência sobre determinados processos e na própria evolução do solo. Isso porque, as propriedades físicas de um solo são influenciadas tanto por condições de acidez quanto de alcalinidade, pois em ambos os casos, quando em situações extremas, pode ocorrer a dispersão de colóides com destruição da estrutura. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Usualmente, o fenômeno de acidificação do solo ocorre em regiões de clima úmido, já que a grande quantidade de chuva provoca a lavagem de forma progressiva, propiciada pela água gravitacional de significativas quantidades das bases, ou seja, o cálcio, o magnésio, o sódio e o potássio. No princípio desse processo essas bases lavadas do perfil são substituídas pelo hidrogênio, responsável pela reação ácida da solução do solo. Sua continuidade determina a substituição do hidrogênio adsorvido nos colóides do solo pelo alumínio, um elemento tóxico para a maior parte das plantas cultivadas. (LEPSCH, 1977)

As plantas não conseguem se desenvolver bem quando cultivadas em um solo muito ácido, ou seja, no caso de apresentarem pH abaixo de 5,6. Entretanto, na grande maioria das situações, não é a acidez em si, o fator determinante do prejuízo ao processo de crescimento dos vegetais, e sim alguns fenômenos que lhe são conseqüentes, como o “[...] aparecimento de elementos tóxicos às plantas [alumínio], insolubilização de alguns nutrientes [fósforo e boro] e remoção de outros pela substituição iônica [cálcio, magnésio e potássio]”. (LEPSCH, 1977)

As propriedades afetadas pelo pH do solo podem ser assim identificadas: (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Tabela 05 - Propriedades afetadas pelo pH do Solo.

	PROPRIEDADES AFETADAS
Físicas	Estrutura.
	Porosidade e arejamento.
	Circulação da água.
	Dispersão-floculação dos colóides e iluviação destes
	Outros
Químicas	Intemperismo químico.
	Disponibilidade de nutrientes.
	Mobilidade de metais tóxicos.
	Decomposição de matéria orgânica.
	Adsorção de ânions.
	Outros.

Biológicas

Mobilidade e adsorção de nutrientes.

Humificação.

População bacteriana.

Fixação de nitrogênio

Outros.

- Intercâmbio iônico

A água do solo contém pequenas e variáveis quantidades de sais minerais, oxigênio e gás carbônico, formando uma solução diluída, sendo que os tipos e as quantidades dos elementos que se encontram dissolvidos nesta chamada ‘solução do solo’, dependem diretamente dos elementos que estão adsorvidos nos colóides, os quais funcionam como reservatório. Entre estes e a solução do solo existe um equilíbrio que é mantido graças à capacidade de troca de cátions. (LEPSCH, 1977)

Se por exemplo o cálcio é o cátion que prevalece entre os adsorvidos, ele prevalecerá também na solução do solo, que será neutra ou quase neutra. Se pelo contrário, o hidrogênio ou o alumínio predominam entre todos os cátions adsorvidos na superfície dos colóides, eles predominarão também nas soluções do solo que, conseqüentemente, se tornam ácidas. (LEPSCH, 1977)

Os colóides têm origem orgânica e inorgânica e “são superfícies carregadas eletricamente, tais como as argilas”. (REICHARDT, 1985)

Os elementos minerais e orgânicos constituintes da fração coloidal do solo possuem cargas de superfície, as quais são neutralizadas por íons. Dependendo do pH do solo e do tipo de material as cargas das partículas podem ser negativas ou positivas. Na neutralização de cargas eletrostáticas os íons são intercambiáveis (ou trocáveis) por outros da solução, por processos físico-químicos que dependem da concentração relativa dos íons, carga elétrica, raio iônico hidratado, etc. (TEDESCO, 1995)

Quando uma superfície apresenta-se excessivamente carregada com cargas negativas é denominada de ‘trocadora de cátions’ quando apresenta excesso de cargas positivas é identificada como ‘trocadora de ânions’. (REICHARDT, 1985)

O intercâmbio catiônico constitui-se de maior relevância no solo do que o aniônico, porque a fase coloidal, interferente no intercâmbio, é do ponto de vista elétrico, predominantemente de carga negativa, originadas nas substituições isomorfas que ocorrem nos minerais argilas. “A superfície carregada do colóide [carga negativa] e os íons da solução

aquosa de sinal contrário [carga positiva] constituem o que se denomina dupla camada elétrica difusa”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Dupla camada iônica é a denominação utilizada para designar o sistema de partículas coloidais em contato com uma solução iônica. Esta denominação deve-se “à presença de duas ‘camadas’ de carga, uma negativa que é a superfície do colóide e a outra constituída dos cátions adsorvidos”. (REICHARDT, 1985)

O intercâmbio iônico é medido geralmente por intermédio do parâmetro Capacidade de Troca de Cátions [CTC], que aparece expressado em centimols de carga positiva [da fase coloidal] por kilograma: cmol/kg [unidade SI], ou em meq/100 g. Sua determinação até o momento não é de todo satisfatória, em função de problemas analíticos ainda por resolver [...] Em conjunto, a CTC das argilas pode ser estimada entre 1-150 meq/100 g. No caso da matéria orgânica, a disparidade de valores de CTC se deve ao diferente grau de decomposição-humificação apresentado. A existência no terreno de alofana (aluminossilicatos amorfos) também proporciona uma importante CTC. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Nos solos agrícolas predominam as cargas superficiais negativas, neutralizadas por cátions, sendo que a capacidade de troca catiônica dos solos agrícolas pode variar desde valores próximos à zero, semelhante ao que ocorre nos solos arenosos, até 20-30 cmol_c dm⁻³, que são aqueles comuns aos solos férteis. (TEDESCO, 1995)

Sendo o solo constituído por um sistema físico-químico heterogêneo a determinação exata da capacidade de troca é praticamente impossível, pois os resultados obtidos são influenciados por diversos parâmetros do método de determinação: natureza e concentração do íon trocante, pH da solução, temperatura, etc. Assim, geralmente são utilizados dois métodos na determinação da capacidade de troca de cátions do solo: soluções não tamponadas e soluções tamponadas a pH pré-determinado. (TEDESCO, 1995)

Constitui-se comum a utilização do tamponamento a pH 7 na avaliação da capacidade de troca de cátion. “Em solos ácidos, por exemplo, os valores obtidos nesta determinação são superiores aos obtidos a pH natural do solo. Esta diferença expressa a capacidade de troca pH-dependente do solo”. (TEDESCO, 1995)

- Salinidade

A salinização constitui-se em um dos principais processos de formação de solos que afetam e expressam seus efeitos, através de características dos horizontes, consistindo na “translocação e acumulação de sais solúveis de cloretos e sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio de um horizonte para outro”. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Cloretos de sódio ou de magnésio aparecem, geralmente, em proporções maiores que os cálcio ou os de potássio e em alguns casos substâncias como bicarbonatos, carbonatos e nitratos, também, estão presentes em um solo salino, sendo que a acumulação destes sais solúveis propicia o fenômeno denominado salinização. Enquanto o fato de os solos os conterem é identificado como fenômeno de salinidade. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Os solos salinos também são denominados de ‘halomórficos’, e apresentam como característica comum uma alta concentração de sais solúveis, predominando o cloreto de sódio. Esses solos são comuns em locais mais baixos de relevo, nas regiões áridas e semi-áridas e em áreas próximas ao mar. (LEPSCH, 1977)

A alta concentração de sais no solo faz com que a vegetação presente nele prescindia da inversão normal do fluxo hídrico (solo-planta-atmosfera), na tentativa de contrafazer a ação agressiva por diluição, a qual provoca a secura fisiológica, pois poucas plantas conseguem sobreviver em altas concentrações salinas. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A salinidade do solo propicia outros efeitos sobre as plantas como a concorrência entre determinados nutrientes, toxicidade, e outros. Também, a estrutura do solo é afetada, já que a composição dos cátions é modificada. Assim, “o grau e o tipo de salinidade condicionam toda uma série de propriedades do solo e também os rendimentos do cultivo”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A salinidade de um solo é mensurada através da condutividade elétrica de um extrato de pasta saturada. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- Propriedades biológicas

Estas propriedades encontram-se relacionadas com as condições macroclimáticas atmosféricas, com os pedoclimas ou induzidas pelo homem. (PALMIERI; LARACH, 2000)

O teor de matéria orgânica permite a avaliação da fertilidade do solo. (TEDESCO, 1995)

Os organismos atuam na diferenciação dos perfis do solo e podem ser identificados como os microorganismos formadores da microflora e microfauna; os vegetais que correspondem à macroflora; os animais que estão relacionados à macrofauna e o ser humano. (LEPSCH, 1977)

Com relação ao tamanho, alguns organismos do solo podem estar incluídos na seguinte classificação: macrofauna (de 6 a 200 mm); mesofauna (de 200-6.000 μ m) e

microorganismos (<200 μm). (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

O crescimento das populações de microorganismos não ocorre de forma demasiada, devido a fatores ambientais como temperatura, umidade, pH e outros, sendo que os organismos edáficos têm influência positiva sobre as propriedades físicas do solo, auxiliando em sua estruturação, decomposição de substâncias orgânicas, tóxicas, entre outras. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA [200?])

- Temperatura

A disponibilidade e a absorção dos nutrientes são afetadas pela temperatura, isso porque, a atividade microbiológica, a solubilidade de compostos, os coeficientes de difusão, de absorção radicular, de permeabilidade das raízes e as atividades metabólicas são influenciados por variações de temperatura. (REICHARDT, 1985)

As condições de temperatura e de umidade do solo estabelecem o que convencionalmente é chamado de ‘o clima do solo’, sendo que sua mensuração é obtida através do uso de termômetros localizados a cinquenta centímetros de profundidade. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA [200?])

“O relevo local, a orientação das encostas e a posição do solo na paisagem têm um enorme efeito nas condições térmicas dos solos, favorecendo o aparecimento de microclimas e, por conseguinte, alterações na cor, temperatura e cobertura vegetal natural.” (PALMIERI; LARACH, 2000)

Existem estudos que relacionam variações de temperatura com a absorção radicular e acúmulo de nutrientes nas plantas. Eles indicam que as atividades biológicas no solo aumentam com a elevação da temperatura, até um máximo em torno de 30°C, sendo que “a absorção de nutrientes tem diferente dependência da temperatura para os diversos nutrientes”. (REICHARDT, 1985)

A temperatura do solo varia com a orientação das encostas, assim no Hemisfério Sul as vertentes viradas para sul e leste são mais frias e úmidas do que as orientadas para norte e oeste. (PALMIERI; LARACH, 2000)

- Cor

A cor é uma das Características que propicia informações sobre composição, propriedades e origem dos solos, estando intimamente relacionada às condições atmosféricas ou pedoambientais que prevalecem ou que atuaram na formação do solo. Assim, a

distribuição e o arranjo de cores, ao longo de um perfil de solo, é um dos critérios utilizados na identificação e separação de horizontes, bem como para conceituação de classes de solos nos diversos levantamentos executados no Brasil. (PALMIERI; LARACH, 2000)

A cor do solo indica a qualidade e comportamento deste corpo natural. Seu estudo é passível de diferentes classificações, sendo que a mais utilizada baseia-se nos padrões de escala descrita por Munsell no ano de 1975. Esta escala define um espaço tridimensional de cor, a partir das seguintes coordenadas: matiz, correspondendo ao comprimento de onda dominante na radiação refletida pelo solo, sendo a cor espectral dominante; brilho, referindo-se ao grau de claridade ou obscuridade relativa da cor, em comparação com o branco absoluto; e croma, relacionando-se à saturação cromática que expressa a pureza relativa da cor, sendo que uma pureza baixa de cor supõe um domínio do cinza. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA [200?])

A duração do período em que o solo se apresenta úmido, molhado ou encharcado determina uma coloração diferenciada dos horizontes em relação à profundidade. Os solos de várzea, que permanecem encharcados grande parte do ano, apresentam horizonte superficial de cor preta, devido ao acúmulo de material orgânico de natureza turfosa e os horizontes sub-superficiais possuem matizes neutros: cinzento, azulado ou esverdeado. À medida que o lençol freático torna-se mais profundo, dá-se diminuição dos teores de material orgânico e por esse motivo, tornam-se mais claros podendo apresentar tonalidades bruno-escuras. Os horizontes sub-superficiais vão perdendo as cores neutras e começam a apresentar cores com matizes mais vivas amareladas ou amarelo-avermelhadas. Isto ocorre em várzeas ou em vales com diminutas variações topográficas. (PALMIERI; LARACH, 2000)

2.3.6 Classificação e categoria

Inexiste um sistema único para a classificação dos solos. Enquanto objeto de estudo, o solo pode apresentar agrupamentos diversos e, por esse motivo, um mesmo solo poderá apresentar diversas classificações, todas válidas, desde que sejam considerados os diferentes interesses norteadores do âmbito de emprego dessas classes. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA [200?])

2.3.6.1 Classificação de solos no Brasil

A classificação descrita a seguir evidencia as inter-relações fundamentais entre características das principais classes de solos com as unidades de relevo e com os aspectos fitofisionômicos da vegetação natural do território brasileiro. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Como os solos brasileiros formam-se em clima predominantemente tropical, tornou-se necessário o aprimoramento de um sistema de classificação adaptado às condições locais. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA [200?])

O fato dos solos incluírem-se na classe dos podzólicos os que apresentam maior interesse para o presente estudo, serão os primeiros a serem descritos.

Os solos podzólicos são comuns em regiões florestais de clima úmido, possuindo perfis bem desenvolvidos e profundidade mediana entre um e meio a dois metros. Esses solos são moderadamente ou bem intemperizados, e ao contrário dos latossolos apresentam, geralmente diferenciação marcante entre os horizontes. (LEPSCH, 1977)

Entre os vários grandes grupos de solos podzólicos o mais comum no Brasil é o Podzólico Vermelho-Amarelo. Este freqüentemente ocorre associado ao Latossolo, com o qual pode apresentar características comuns, havendo alguns que são considerados como intermediários entre essas duas classes. O Podzólico Vermelho-Amarelo mais típico, quando comparado com o Latossolo tem profundidade menor, proporções maiores de silte e minerais pouco resistentes ao intemperismo, além da marcante diferenciação de horizontes. Esse tipo de solo ocorre em situações, nas quais o relevo apresenta-se mais acidentado do que o Latossolo e é também de melhor fertilidade natural. (LEPSCH, 1977)

Nesses solos a vegetação natural comumente encontrada é a floresta de árvores de folhas largas. A maior parte deles apresenta boas condições para o desenvolvimento dos processos agrícolas intensivos. Desde que não esteja situado em áreas com relevo de declives muito fortes, uma vez que, nessas condições são extremamente susceptíveis à erosão hídrica e por esse motivo, apresentam-se ácidos e de baixa fertilidade, necessitando por isso do uso adequado de corretivos e fertilizantes para serem devidamente cultivados. (LEPSCH, 1977)

Segundo o sistema brasileiro de classificação dos solos, tem-se como classificação de cor destes, o matiz, que é um componente da cor do solo que consta no lado superior direito da tabela Munsell e que considera a contribuição do vermelho (red) e do amarelo (yellow) e varia de 10R e 10Y. No matiz 10R a cor vermelha contribui com 100% e a amarela com 0%, no matiz 5YR a cor vermelha e a amarela contribuem com 50% cada.

- Podzólico vermelho-amarelo

Nessa classe estão incluídos os solos que apresentam horizonte diagnóstico B textural com seqüência de horizonte A, Bt e C ou A, E, Bt e C. Seus horizontes encontram-se bem diferenciados, apresentando nítido gradiente textural, cujo incremento de argila do horizonte A para o Bt é percebido com facilidade. A textura, a atividade da argila e a fertilidade natural são muito variáveis. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Essas formações de solos ocorrem de forma bastante expressiva nas áreas morfoestruturais mais variadas, de unidades e classes de relevo. Geralmente, predominam nas encostas côncavas e plano-inclinadas das superfícies onduladas e forte onduladas. A fitofisionomia da vegetação natural é bastante diversificada e pode ser composta de formações florestais, caatingas, cerrados e campos cerrados. As classes que ocorrem em ambientes mais secos e menos úmidos apresentam, em geral, solos com boas reservas de nutrientes e argila de atividade alta. (PALMIERI; LARACH, 2000)

- Podzólico Bruno-acinzentado

Essa classe inclui os solos minerais cuja drenagem apresenta-se moderada, com B textural bastante nítido e com a parte superior escurecida. A atividade de argila é elevada, ou seja, superior a 24 meq/100g de argila, após correção para carbono. A estrutura do Bt é formada por blocos bem desenvolvidos e apresentam abundantes argilas na superfície dos elementos estruturais. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Os solos dessa classe são ocorrências comuns em paisagens de superfícies suave ondulada, formados sob vegetação de floresta perenifólia subtropical e campestre, e estão restritos aos planaltos Sul-Riograndense e da Campanha Gaúcha e aos patamares da Bacia do Paraná, nos Estados de Santa Catarina e Paraná. (PALMIERI; LARACH, 2000)

- Podzólico amarelo

Esses solos são profundos e caracterizados pela presença de coloração amarelada de matizes 7,5YR a 10YR, nítida diferença textural entre o horizonte A superficial e o horizonte B textural (Bt) subsuperficial, baixa atividade de argila e teores de sesquióxido de ferro (Fe_2O_3) inferiores a 7%. Apresentam seqüência de horizontes A, Bt, C ou A, E, Bt, C com diferenciação de horizonte variável, dependendo do tipo de horizonte A e do incremento da argila no Bt. Sendo mais nítida quando o horizonte E está presente e neste caso, a transição dá-se de forma abrupta para o Bt. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Esses solos ocorrem com bastante frequência, nas paisagens de topografia suave ondulada e ondulada sob vegetação de floresta tropical subperenifólia, relacionado-se, principalmente, com as coberturas Plio-Pleistocêneas dos Tabuleiros Costeiros. Muito poucas constatações têm sido referidas nas coberturas inconsolidadas similares da bacia sedimentar amazônica. (PALMIERI; LARACH, 2000)

- Podzol

Nessa classe estão os solos areno-quartzosos com nítida diferenciação e seqüência de horizontes do tipo A, E, B podzol (Bhs) e C. O horizonte A, de cor escura, contrasta com o horizonte E, alvíscio de coloração clara, o qual, por sua vez, contrasta com o horizonte subsequente Bhs, ou seja, B podzol de coloração café, que normalmente está a uma profundidade maior do que cinquenta centímetros. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Os solos que compõem essas paisagens associam-se a planícies e cordões litorâneos e dunas estabilizadas, sob vegetação de restinga arbórea ou arbustiva com substrato graminiforme. Algumas ocorrências têm sido observadas em Tabuleiros Costeiros e Amazônicos; estas ocorrências estão relacionadas a pequenas depressões ou bolsões areno-quartzosos. De forma esporádica existem ocorrências em materiais provenientes de metaquartzitos na serra da Mantiqueira. Nos ambientes fora da orla marítima a vegetação é constituída de espécimes florestais de baixo porte e pouco densas. (PALMIERI; LARACH, 2000)

- Podzol hidromórfico

Esses solos integram variedades hidromórficas de podzol, apresentando lençol freático próximo à superfície sazonalmente. Não apresentam cores neutras cinzentas, pelo fato do material originário apresentar natureza areno-quartzosa, sendo desprovido totalmente de qualquer material argiloso. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Os solos dessa classe existentes na orla marítima apresentam paisagens similares as do podzol não hidromórfico, sendo que grandes áreas dela ocorrem em sedimentos areno-quartzosos inconsolidados nas depressões Rio Branco/Negro e da Amazônia Setentrional, na região sob influência do Rio Uapés. Em ambas as áreas a vegetação é constituída de comunidades pioneiras denominadas de Campinarana. (PALMIERI; LARACH, 2000)

- Latossolos

Classe que se constitui de solos minerais não hidromórficos de seqüência de Horizontes A, Bw e C. Sua característica diferencial é definida pela ocorrência de Horizonte B latossólico, o qual é constituído essencialmente por minerais altamente intemperizados e por conseguinte, de fração argila, possuindo pouca atividade, e cuja capacidade de troca catiônica atinge até 13 meq/100g de argila após correção para carbono, sendo constituída, essencialmente, de argilo-minerais e de óxidos de ferro e de alumínio e apresentando condições à ocorrência ou não de predominância de um desses constituintes. Esses solos são profundos e o Horizonte B latossólico pode apresentar mais de dois metros de espessura. Geralmente, evidenciam contraste apenas entre os horizontes A e B, sendo complexa a transição entre os subhorizontes B. Suas propriedades químicas, físicas e mineralógicas apresentam pouca diferenciação ao longo do perfil, não sendo visualizadas com clareza. Apresentam classe textural que varia de média a muito argilosa, sendo sua drenagem incluída entre os parâmetros de acentuada à moderada. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Nesses solos a fertilidade natural é pequena, apresentam acidez elevada, assim como são altos os teores de alumínio trocável. “Alguns solos de cores vermelho-escuras e roxas podem apresentar boas reservas de nutrientes”. (PALMIERI; LARACH, 2000)

- Latossolo amarelo:

Inclui os solos de cores amareladas de matizes 10YR ou próximas delas, seus teores de sesquióxido de ferro (Fe_2O_3) atinge até 7%. A fração argila que compõe esse tipo de solo é constituída, basicamente, por caulinita muito bem cristalizada, e entre os óxidos de ferro é expressiva à predominância de goetita. Grande parte desses solos expressa coesão ou adensamento nos horizontes A/B, B/A e às vezes no Bw1, os quais apresentam consistência dura a muito dura, quando secos e acumulação maior de argila natural, isto é, argila dispersa em água. Esta propriedade propicia o aumento da densidade aparente que se reflete numa porosidade total mais baixa e maior coesão dos elementos estruturais do que em outros latossolos. (PALMIERI; LARACH, 2000)

O horizonte A, superficial desse tipo de solo, é pouco espesso e possui baixos teores de matéria orgânica. O horizonte B, por sua vez, notadamente, os argilosos e muito argilosos, apresentam estrutura prismática, fracamente desenvolvida que se desfaz em blocos subangulares.

“As paisagens distribuem-se com grande expressão nas unidades de relevo relacionadas com sedimentos inconsolidados atribuídos a coberturas plio-pleistocênicas da

bacia sedimentar amazônica e litorânea atribuídas aos Grupos Barreiras e congêneres”. (PALMIERI; LARACH, 2000)

➤ Latossolo vermelho-amarelo:

Corresponde aos solos com cores vermelho-amareladas, com matizes da ordem de 2,5YR a 7,5YR e teores de sesquióxido de ferro (Fe_2O_3), numa escala entre 7 e 11%. Entre os óxidos de ferro apresenta predomínio de goetita, entretanto, na medida em que se tornam mais avermelhados, aumentam os teores de hematita. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Esta classe de solos ocorre nos mais variados domínios morfoestruturais e unidades de relevo. Áreas expressivas são encontradas nas depressões Amazônicas; nas chapadas de coberturas sedimentares inconsolidadas do São Francisco, Meio Norte, Araripe, e outras. (PALMIERI; LARACH, 2000)

“A fitofisionomia da vegetação natural pode compreender tanto as fácies mais secas como as mais úmidas das formações florestais, caatingas, cerrados e campos”. (PALMIERI; LARACH, 2000)

➤ Latossolo vermelho-escuro:

Nesta classe, estão incluídos os solos que possuem coloração 2,5YR ou mais vermelhos. Possui teores de sesquióxido de ferro (Fe_2O_3), numa escala entre 11 e 18%. A fração argila constitui-se de caulinita, gibsitita e dentre os óxidos de ferro predomina a hematita. Em alguns desses solos a gibsitita e a hematita apresentam predominância sobre os argilo-minerais caoliníticos. A fertilidade natural desses solos apresenta-se pequena, no entanto, existem alguns deles com boas reservas de nutrientes, em maiores proporções que as encontradas em Latossolos Vermelho-Amarelos.

Esses solos ocupam “grandes extensões de superfícies planas e suaves onduladas e estão relacionadas, principalmente, às coberturas metassedimentares associadas e às coberturas sedimentares inconsolidadas Plio-Pleistocênicas”. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Nos sedimentos Plio-Pleistocênicos esses solos ocupam vastas áreas nas chapadas dos Parecis, dos planaltos de Caiapônia, dos Parecis e da Bodoquena. Com exceção da cobertura vegetal do planalto da Bodoquena, que é constituída de floresta tropical caducifólia, as outras áreas apresentam vegetação de cerrado e campo cerrado. (PALMIERI; LARACH, 2000)

➤ Latossolo roxo :

Esta classe de solo inclui aqueles que possuem cores vermelho-escuro de tonalidades arroxeadas e matizes, preferencialmente 10R ou mais vermelhos. Seus teores de sesquióxido de ferro (Fe_2O_3) encontram-se numa escala entre 18 e 40%. Derivam de rochas básicas e sua massa apresenta grande susceptibilidade magnética. A hematita predomina sobremaneira em sua fração argila, a qual possui também, pequenas quantidades de maghemita, sendo que nas frações mais grosseiras ocorre predomínio de ilmenita e magnetita. Naqueles solos que atingem matiz 10R ou mais vermelhos, às vezes ocorre ausência de goetita. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Esses solos ocorrem em superfícies planas e suave onduladas, relacionadas com derrames basálticos e diques de diabásio, sendo que áreas extensivas são encontradas nos planaltos Centrais e de Araucárias da Bacia do Paraná. (PALMIERI; LARACH, 2000)

➤ Latossolo ferrífero:

Esta classe abrange solos de coloração vermelho-escuro com matizes preferencialmente inferiores a 10R. Seus teores de sesquióxido de ferro (Fe_2O_3), atingem níveis superiores a 40%. Esses solos originam-se de rochas metamórficas tipo itabirito e congêneres e a massa do solo é altamente atraída por imã. Ocorrem concreções ferruginosas de diâmetros variáveis, tanto na superfície como na massa do solo, e por esse motivo são qualificados como cascalhentos, apresentando, não variavelmente, textura argilosa ou muito argilosa cascalhenta. São comuns, ainda, nuances das tonalidades vermelhas e roxas, por causa da incidência de raios solares. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Esses solos ocorrem em relevos ondulados e forte ondulados, com encostas de conformações convexas, sob vegetação de campos cerrados e cerrados pouco densos e arbustivos. São exemplos dessas ocorrências as serras do Espinhaço/Quadrilátero Ferrífero e dos Carajás, e encontram-se relacionados aos produtos de decomposição de rochas metamórficas muito ricas em ferro. (PALMIERI; LARACH, 2000)

➤ Latossolo bruno :

Essa classe de solos inclui aqueles com cores brunadas e matiz, preferencialmente, da ordem de 5YR. Consistem em solos originados de derrame basáltico ou de rochas alcalinas, sob condições de clima úmido e frio. No caso dos solos derivados de rochas basálticas, estes correspondem às contrapartes dos Latossolos Roxos desenvolvidos sob condições de clima subtropical. A cor Bruna ou vermelho-amarelada do horizonte Bw, reflete

a predominância de goetita sobre a hematita. Na sua fração argila predomina a haloisita entre os argilo-minerais: a caulinita apresenta-se mal cristalizada e por isso, desordenada, existindo ainda ocorrência regular de vermiculita com hidróxido de alumínio inter-lamelar. (PALMIERI; LARACH, 2000)

Essas paisagens associam-se às superfícies planas e suaves onduladas acima de oitocentos metros de altitude, sob vegetação de campos subtropicais nos planaltos de Araucária e de Poços de Caldas. (PALMIERI; LARACH, 2000)

2.3.7 Degradação e contaminação do solo

Os ambientes naturais encontravam-se em estado de equilíbrio dinâmico, até que as sociedades humanas passaram, progressivamente, a intervir cada vez mais intensamente na apropriação dos recursos naturais. Os processos de mecanização da agricultura em sistema de monocultura, a generalizada implantação de pastagens, a intensa exploração de recursos energéticos e matérias-primas como o carvão mineral e o petróleo, alteraram, de forma irreversível o cenário da Terra e provocaram processos degenerativos profundos na natureza. (ROSS *apud* GUERRA, 2000)

Juntamente com a luz solar, o ar e a água, o solo é uma das quatro condições básicas à vida no globo terrestre. É por intermédio da fotossíntese que os vegetais utilizam gás carbônico, água e os nutrientes para crescer, frutificar, liberar oxigênio e, é pelo processo de troca de íons que a maior parte dos nutrientes são absorvidos do solo [...] As enxurradas causadas pelas chuvas, os rios e os ventos vêm continuamente desgastando a superfície da terra, transportando lentamente as partículas do solo [...] fenômeno denominado erosão geológica [...] Pela erosão foram esculpidos os morros, escavados os vales, formadas as várzeas e os deltas dos rios. No estado natural do solo, a vegetação cobre-o como um manto protetor, o que faz com que sua remoção seja muito lenta e, portanto, compensada pelos contínuos processos de formação do solo [...] o ciclo de desgaste é normalmente equilibrado pela renovação e, é graças a este equilíbrio, que a vida sobre o Planeta é mantida.”(LEPSCH, 1977)

Os processos naturais como a lixiviação, a erosão, os deslizamentos ou a modificação da cobertura vegetal, entre outros, constituem-se processos que ocorrem nos ambientes naturais, mesmo sem a intervenção humana. Porém, quando o homem desmata, planta, constrói e transforma o ambiente, esses processos, ditos naturais, tendem a ocorrer com intensidade muito mais violenta e, nesse caso as consequências para a sociedade são quase sempre desastrosas. (CUNHA *apud* GUERRA, 2000)

2.6.1 Degradação

“A degradação do solo é a perda parcial ou total de sua produtividade, qualitativa ou quantitativamente, ou de ambas as formas, como consequência de processos como a erosão, a desertificação, a salinidade ou a contaminação”.(FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A degradação do solo atinge de forma direta os processos agrícolas, reduzindo o rendimento dos cultivos, prejudicando os recursos hídricos, acarretando em graves consequências para outros setores econômicos e ambientais. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A degradação ambiental pode ter uma série de causas. O manejo inadequado do solo, em áreas rurais e áreas urbanas representa a principal causa da degradação. Essas áreas estão mais sujeitas a sofrer degradação do que aquelas com grande pressão demográfica, mas que levam em conta os riscos da natureza. No entanto, nem sempre esses riscos são considerados e a pressão demográfica, aliada à necessidade da obtenção de recursos naturais, pode resultar em processos de degradação. (CUNHA *apud* GUERRA, 2000)

As próprias condições naturais podem, junto com o manejo inadequado, acelerar a degradação. Chuvas concentradas, encostas desprotegidas de vegetação, contato solo-rocha abrupto, descontinuidades litológicas e pedológicas, encostas íngrimes são algumas condições naturais que podem acelerar os processos. Apesar das causas naturais, por si só, detonarem processos de degradação ambiental, a ocupação humana desordenada, aliada às condições naturais de risco, podem provocar desastres, que envolvem, muitas vezes, prejuízos materiais e perdas humanas. (CUNHA *apud* GUERRA, 2000)

No Brasil as atividades agrícolas não são as únicas formas de redução do capital pedológico, já que outros fatores atuam nesse sentido, sendo exemplo: a urbanização crescente a com instalação de indústrias e ampliação de áreas urbanas, tornando inúteis muitos milhares de hectares de solos produtivos. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Ricos terraços aluviais de vales são muitas vezes utilizados para instalação de indústrias que procuram a proximidade da água para instalar seus processos produtivos, despejando ali, conseqüentemente, seus efluentes. Desta forma, na maioria dos casos, em torno das áreas industrializadas, os solos estão submetidos aos ‘modernos’ tipos de poluição: acidificação, acumulação de metais pesados, de pesticidas, de matérias orgânicas tóxicas, de hidrocarbonetos e de elementos radiativos. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Em condições naturais, o solo coberto pela vegetação é pouco sujeito a processos de degradação, refletindo uma condição de equilíbrio ambiental do qual ele é um componente, assim como a cobertura vegetal. (ANJOS; RAIJ, 2004)

Quando o homem cultiva a terra para seu sustento, acaba rompendo o equilíbrio benéfico que renova a vida no Planeta. Uma vez que, para cultivar a terra, torna-se necessária a destruição da cobertura vegetal no processo de arar o solo. Esta operação, quando efetivada sem o devido cuidado, apressa de forma significativa a remoção dos horizontes superficiais, promovendo a erosão acelerada. (LEPSCH, 1977)

Essa aceleração do ritmo erosivo produz condições anormais e relevantes, como “presença de voçorocas, pomares com árvores raquíticas e raízes expostas, barreiras caídas em estradas, caminhos profundos nas pastagens, entulhamento de reservatório d’água, inundações em campos e cidades ribeirinhas e águas turvas ou barrentas nos rios e riachos”. (LEPSCH, 1977)

Com a destruição da cobertura vegetal devido à ocupação do solo pela agricultura, o que inclui, muitas vezes, o uso de queimada, dá-se a perda de matéria orgânica e de nutrientes e a redução da infiltração de água, isto faz com que a água de chuvas fortes escorra pela superfície do terreno, em vez de penetrar no solo. Esse processo tem como consequência o prejuízo a uma das mais importantes funções do solo: sua atuação enquanto filtro ambiental, é imprescindível, para que a água das chuvas seja captada e conduzida aos aquíferos subterrâneos. “Além disso, grandes quantidades do melhor solo são arrastadas pelo processo da erosão, reduzindo a fertilidade, provocando o assoreamento dos rios, causando danos à fauna aquática e diminuindo o volume da calha”. (ANJOS; RAIJ, 2004)

A degradação ambiental não deve ser analisada somente sob o ponto de vista físico, pois o problema deve ser entendido de forma global, integrada, levando-se em conta as relações existentes entre a degradação ambiental e a sociedade causadora desse problema, que, ao mesmo tempo, sofre os efeitos e procura resolver, recuperar, reconstituir as áreas degradadas. (GUERRA; CUNHA, 2000)

Considerando-se que os problemas gerados pela degradação dos solos podem ser minimizados a partir de seu estudo, a seguir serão analisados alguns de seus principais efeitos, como a erosão, a salinização, a desertificação e algumas formas de contaminação.

- Erosão

Constitui-se em uma das principais causas de degradação dos solos. Usualmente é “definida como a remoção das partículas do solo das partes mais altas, pela ação das águas da

chuva ou dos ventos, e o transporte e deposição destas partículas para as partes mais baixas do relevo, ou para o fundo dos lagos, rios e oceanos”. (LEPSCH, 1977)

O processo de erosão representa o resultado da perda progressiva dos recursos do solo, cujos processos podem ser “relativamente lentos, intermitentes e recorrentes ao longo dos anos [...] progressivos [...] irreversíveis”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Os principais agentes erosivos são a água e o vento, traduzidos como erosão hídrica e eólica. Nos processos erosivos são levados em conta ainda, “a ação da temperatura e da atividade biológica e antrópica”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Podem ser considerados os seguintes tipos de erosão, de acordo com o agente que a provoca: a água determina a erosão hídrica; o vento aquela denominada ‘eólica’; o gelo propicia a erosão glacial; a gravidade provoca os movimentos em massa; a fauna e as raízes determinam a erosão biológica; com a neve dá-se a erosão por fusão da neve e o ser humano associado à água produz a erosão antropogênica. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A destruição da vegetação nativa constitui-se na primeira grande ameaça ao solo e, geralmente está associada com as queimadas e o revolvimento. Um dos aspectos mais graves da erosão está no fato de que as partículas mais finas do solo, de argila e matéria orgânica, justamente as mais ativas do ponto de vista físico-químico e as mais ricas em nutrientes, constituem-se nas mais susceptíveis de serem removidas pelo processo da erosão. (ANJOS; RAIJ, 2004)

Em condições naturais existe equilíbrio entre a erosão e a formação do solo. A cobertura vegetal representa o principal agente de proteção no controle dos processos erosivos, sendo que, protege o solo da ação da chuva e do vento. Com a retirada desta cobertura o ritmo de erosão natural torna-se acelerado, fazendo com que as perdas sejam mais importantes que as reposições. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A cobertura vegetal tem grande importância na susceptibilidade à erosão. A atuação da floresta como reguladora de enxurrada e controladora da degradação dos solos é explicada pela existência de uma integração biológica da comunidade florestal com o clima e com o solo superficial. A parte superior do solo é protegida pela copa das árvores e pelos arbustos em diferentes alturas, e a presença de folhas mortas, galhos secos e matéria orgânica em vários estágios de decomposição, com abundância de microorganismos, mantém o solo poroso, o que favorece a formação de uma estrutura ideal para a retenção de água e para a infiltração [...] além de influenciar a interceptação das águas da chuva, ao atenuar seu impacto no solo, a cobertura vegetal atua diretamente na produção de matéria orgânica, que afeta a agregação das

partículas do solo, processo em que também se destacam as raízes, que formam e estabilizam esses agregados. (ANJOS; RAIJ, 2004)

A erosão hídrica isto é a causada pelas águas é no território brasileiro a forma mais relevante de erosão, sendo mais importante do que aquela causada pelos ventos. (LEPSCH, 1977)

- Salinização

A salinidade constitui-se em um dos mais graves problemas de degradação do solo em nível mundial, sendo um processo que torna inútil o solo para a agricultura. Este não representa o maior problema para o território brasileiro, apenas, porque a área de solo em clima semi-árido não é a mais extensa do país. (ANJOS; RAIJ, 2004)

Em regiões semi-áridas a evapotranspiração é muito elevada, superando a água das chuvas, isso acarreta acúmulo de sais nos solos. Assim, o excesso de sais está relacionado ao material de origem do solo. Com a prática da agricultura irrigada, a água passa a ser uma fonte importante de sais. (ANJOS; RAIJ, 2004)

A salinidade afeta o crescimento das plantas pelo aumento da pressão osmótica do ambiente radicular e pela redução da absorção de água. O efeito sobre as plantas afeta as produções, muito antes, de os sintomas visuais tornarem-se aparentes. Além do efeito sobre a pressão osmótica, algumas espécies químicas podem ocorrer em solos salinos, como o carbonato de sódio ou o bórax, prejudicam diretamente as plantas, sendo que os efeitos desse problema variam de acordo com as espécies. (ANJOS; RAIJ, 2004)

Os efeitos negativos que a salinidade de um solo pode acarretar sobre as plantas são: “retardamento na germinação ou, inclusive ausência da mesma [...] crescimento inferior ao esperado [...] necroses nas folhas [...] morte da planta [...] diminuição em geral dos rendimentos produtivos, etc”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Dessa forma, torna-se necessário o conhecimento de cada uma das situações específicas, no que tange a tolerância dos cultivos à salinidade, ou seja, a capacidade da planta para resistir aos efeitos adversos da excessiva quantidade de sais solúveis em sua zona radicular, sem que este fenômeno atinja sua condição de produtividade. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

2.3.6.2 Contaminação do solo

A contaminação consiste na forma de maior importância na degradação dos solos. Esse fenômeno associa-se à entrada de substâncias, as quais, após atingirem determinada concentração, são consideradas indesejáveis, porque prejudicam a capacidade do solo no desenvolvimento de suas funções. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

“A contaminação do solo incide em três aspectos fundamentais [...] o solo é um recurso não renovável em curto prazo [...] a capacidade de depuração e de absorção do solo é limitada [...] determinadas substâncias tóxicas transferem-se, através do solo, aos seres vivos”. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Com relação à natureza dos contaminantes, as principais substâncias são: os metais (Cu, Ni, Zn, Pb, Co, Cr, Cd, Sn, Ba, Hg, As, Mo), componentes inorgânicos (PO_4^{2-} , NH_4^+ , S^{2-} , Br^- , F^- e CN^-), compostos aromáticos e poliaromáticos, hidrocarbonetos clorados e agroquímicos. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Metais com uma densidade maior do que 6 gcm^{-3} são considerados ‘metais pesados’, e embora este seja um termo impreciso, tornou-se mundialmente reconhecido e geralmente é utilizado para a identificação de elementos como cádmio, o cromo, o cobre, o mercúrio, o níquel, o chumbo e o zinco, os quais, estão relacionados com a contaminação ambiental, devido sua alta toxicidade.

A contaminação pode ocorrer de forma endógena quando os constituintes normais do solo apresentam-se de forma natural, em concentrações anormalmente elevadas, podendo causar toxicidade. Por outro lado, a contaminação dá-se de forma exógena, quando as substâncias contaminantes são transportadas artificialmente ao solo. Esta, usualmente, constitui-se na forma mais usual de contaminação dos solos. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Os principais processos edáficos químicos, físicos e biológicos relacionados com a incidência de elementos contaminantes são os processos de transferência, que se dá pelo transporte; os fenômenos de superfície, traduzidos pela adsorção; a formação de complexos e quelatos; as transformações e degradações ocasionadas por microorganismos e pela mesofauna e finalmente, pela absorção realizada pelas plantas. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Enquanto o solo apresenta condições para degradar e imobilizar as substâncias contaminantes, atua como um depurador natural. Entretanto, essa capacidade de depuração é

limitada, pois existe limite para sua capacidade de absorção de resíduos orgânicos, elementos nutritivos e elementos com potencial tóxico. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Por outro lado, o solo possui capacidade para reter os elementos contaminantes que lhe são incorporados, isso acarreta na manifestação dos efeitos destes, apenas, após certo período de tempo. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

São vários os efeitos que os contaminantes provocam no solo, sendo os principais: (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- . redução da qualidade e da quantidade das culturas, implicando em risco para a saúde do ser humano o seu consumo;
- . diminuição na qualidade e na quantidade dos microorganismos do solo, correspondendo à elevação da fragilidade do sistema;
- . o solo perde sua capacidade de depuração natural pelos mecanismos normais de regeneração biológica, depois que são atingidos seus limites de aceitação, implicando na afetação do ciclo biogeoquímico e a respectiva função de filtro biológico;
- . os espaços contaminados apresentam problemas de salubridade para as mais diversas atividades humanas;
- . poluição atmosférica devido à transferência de substâncias pelo processo de volatilização;
- . contaminação das águas superficiais e freáticas por processos de transferência, alcançando concentrações superiores às aceitáveis.

As principais causas de contaminação do solo são os fertilizantes, utilizados de forma intensiva e excessiva; a incorporação, sem o devido controle, de resíduos de origem animal; os fitossanitários utilizados em doses inadequadas e seus produtos de degradação; a incorporação de lodos procedentes da depuração de águas residuárias; os resíduos industriais e urbanos lançados ao solo em quantidades superiores à sua capacidade de aceitação como depurador natural; o emprego de águas residuárias para irrigação e os poluentes atmosféricos lançados ao solo por deposição, tanto secos quando úmidos procedentes das atividades energéticas e industriais. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- Fertilizantes

Embora a maioria dos solos utilizados nos processos agrícolas necessite do fornecimento de nitrogênio, fósforo e potássio na forma de fertilizantes minerais para que sejam supridas suas necessidades, devido a perda destes nutrientes pelas colheitas, o uso

excessivo dos fertilizantes minerais provoca a deterioração de algumas propriedades físicas e físico-químicas do solo, provocando a erosão e a contaminação dos sistemas agrícolas. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A partir de um determinado teor agregado de nutrientes, o cultivo não apresenta melhor rendimento pelo uso de fertilizantes e seu excesso provoca efeitos regressivos à produção, tanto pela toxicidade, quanto pelo desequilíbrio nutritivo, provocado pela competição entre os elementos constituintes do solo. Além disso, a característica de solubilidade apresentada pelos produtos leva à transferência de quantidades administradas em excesso para os aquíferos, causando contaminação das águas. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- Resíduos de origem animal

Muitos processos agrícolas utilizam fertilizantes de origem orgânica, originado de resíduos de animais. A longo prazo essa prática leva à melhoria das propriedades físicas do solo, porque aumentam a estabilidade estrutural, favorecendo a formação de complexos argilo-húmicos e elevam a capacidade de infiltração, o que fará com que seja reduzido o escoamento superficial e, por conseguinte, a erosão. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

No entanto, deu-se o uso indiscriminado desse tipo de produto, devido ao aumento da exploração pecuária e, conseqüentemente, aumento de resíduos de animais e da necessidade de esvaziamento dos locais em que são depositados. Estes fatores não condiziam com as necessidades do solo, resultando na deterioração das propriedades edáficas, pela perda de capacidade de depuração dos solos que foram submetidos a tais processos. Como resultado, obteve-se o aumento da contaminação ambiental. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

O esterco utilizado em doses devadas propicia a salinização do solo, reduz a germinação e o desenvolvimento das plantas, desestabilizando sua estrutura, isso implicará na deficiência da capacidade de infiltração dos solos, tendo como resultado final a sua degradação. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Compostos orgânicos solúveis, aditivos alimentícios e medicamentosos, sais e macroelementos são alguns dos compostos dos resíduos de origem animal que provocam a contaminação dos solos, os quais podem ser transferidos pelo solo e incorporados à cadeia alimentar. Além desses, existem os organismos patogênicos presentes no esterco, como as bactérias, os vírus, os fungos, os protozoários e os parasitas intestinais, que possuem

capacidade de sobrevivência por determinado período de tempo, e por isso, provocam uma série de enfermidades, tanto em animais, quanto no ser humano. Esses problemas exigem tratamento adequado para que estes solos possam ser reaproveitados. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- Fitossanitários (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

O uso de pesticidas ou agroquímicos em processos agrícolas é muito generalizado em todo o Globo e seu consumo tem aumentado progressivamente nos últimos anos. Na teoria esses produtos foram desenvolvidos para que atuassem, especificamente, em espécies determinadas. No entanto, sua atuação dá-se sobre muitas outras. A consequência mais nociva encontra-se na característica de baixa biodegradabilidade, acumulando-se, assim, em determinados níveis da cadeia alimentar.

Estes produtos, segundo suas características, são aplicados à planta e desta passam ao solo; em outros casos são incorporados à superfície ou inclusive dentro do solo. A maior parte deles, uma vez aplicados, sofre processos de degradação, favorecendo, em ocasiões de maior mobilidade, a formação de novos produtos, mais persistentes e perigosos que os compostos iniciais.

Quando estão no solo, a difusão e a persistência desses produtos encontram-se na dependência dos fatores físico-químicos, pertinentes ao próprio fitossanitário, ou seja, sua natureza química, suas propriedades e forma de aplicação, dentre outros. Além disso, também há a dependência a um conjunto de fatores externos ao meio onde se encontra o produto, isto é, das condições climatológicas, do tipo de solo em que estão sendo usados, etc.

O deslocamento dos fitossanitários solúveis, devido aos fatores envolvidos com a difusão e persistência, transportam-se mediante o meio de escoamento superficial, através do solo ou da erosão, porque aderem à superfície das partículas. Seu transporte pode ocorrer ainda, pelos organismos que vivem no solo e através da volatilização. Sua retenção no solo dá-se através dos minerais de argila e da matéria orgânica, notadamente, pelos ácidos húmicos, devido a alta capacidade de intercâmbio iônico que estas substâncias possuem.

No caso dos fitossanitários insolúveis, os quais possuem baixa capacidade de volatilização e de degradabilidade, permanecem no solo por longo período de tempo. Os microorganismos do solo possuem capacidade de aperfeiçoar-se em relação à degradação desses produtos. No entanto, muitas vezes, estes atuam sobre os microorganismos e alteram de forma negativa suas funções pertinentes ao solo.

- Resíduos (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Resíduos orgânicos têm sido utilizados em solos agrícolas na forma de fertilizantes. Este uso tem como base a capacidade de depuração natural dos solos, a reciclagem de nutrientes através do sistema solo-planta e a cobertura das necessidades de matéria orgânica pelo solo cultivado.

Existe grande diversidade na origem e na composição destes resíduos. Dessa forma, constituem-se em materiais muito heterogêneos, mesmo que a grande maioria deles possua natureza orgânica e que em sua composição intervenham substâncias que podem alterar de forma nociva, tanto seres vivos, quanto o ambiente.

Para que possam ser incorporados ao solo, os resíduos precisam, a princípio, perder seu potencial contaminador. Isto é possível através de duas ações: a estabilização de sua matéria orgânica e a incorporação controlada ao solo. Assim, requerem tratamento que estabilize suas matérias orgânicas, ou seja, que contenha os compostos orgânicos que apresentem baixa capacidade de biodegradação para que, no processo de aplicação no solo, não seja perdido seu potencial de fertilização química, atingindo estabilidade biológica compatível com sua utilização e conservando ao mesmo tempo suas propriedades físico-químicas.

Os processos que permitem a estabilização desses produtos consistem na digestão biológica em condições aeróbicas e anaeróbicas, os quais destroem os organismos patogênicos, ao mesmo tempo em que produzem CH_4 e na compostagem que decompõe a matéria biológica sob controle específico, tendo como resultado um produto que se assemelha ao húmus do solo. Neste último, são eliminados os odores, dá-se a redução da quantidade de microorganismos nocivos à vida e há insolubilização dos metais pesados.

Mesmo após os processos que estabilizam sua matéria orgânica e sua incorporação controlada no solo os resíduos orgânicos devem ser aplicados sob controle, a partir do conhecimento da composição do resíduo original, da natureza do solo que o receberá e em doses, também controladas, as quais devem estar de acordo com as necessidades de nutrientes para a fertilização do cultivo a que se destina.

Quando as operações descritas acima não são cumpridas, tem-se como resultado condução de metais pesados para o solo, a presença nele de substâncias orgânicas tóxicas e de microorganismos patogênicos, além de excessos nos suprimentos de constituintes fertilizantes e de agroquímicos, entre outros problemas graves de contaminação.

4.5.2.5 Águas residuárias (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Não são somente os problemas de salinização que são provocados pelo uso de águas residuárias, quando o solo atua como agente de transferência, pois estas podem apresentar outros, também, muito graves, tais como:

- . Eutroficação, ou seja, enriquecimento normal ou anormal dos sistemas biológicos por elementos nutrientes, como o N ou o P;
- . Formas nitrogenadas de contaminação das águas, processo decorrente do excesso de fertilização do solo traduzida pelos nitratos e nitritos, sendo estes, causadores de muitas enfermidades ao homem e aos animais, ocorrendo ainda, a contaminação de elemento altamente tóxico, as nitrosaminas;
- . Águas com elevados teores de boro que provocam toxicidade às plantas;
- . Elevados índices de bicarbonatos que podem provocar cloroses férricas nas plantas;
- . Toxicidade em alguns tipos de frutas, como as cítricas, as uvas e os morangos, devido o excesso de cloretos na água;
- . Diminuição ou perda de oxigenação das raízes e redução de constituintes como o ferro e o manganês, que podem tornar-se mais solúveis e tóxicos, no caso da água apresentar elevado teor de matéria biodegradável;
- . Presença de substâncias contaminantes do solo como metais e restos de agroquímicos.

- Poluentes atmosféricos (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A obtenção de energia e a atividade industrial implicam na poluição atmosférica, sendo seus principais agentes, porque liberam produtos residuais em seu processo de combustão: “CO₂, CO, SO₂, NO_x, O₃, nitratos de peroxiacil, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, metais pesados, elementos radiativos e partículas”.

Assim, o SO₂ é passível de ser absorvido pela vegetação de forma direta ou sob a forma de chuva ácida e então, ser transportado para o solo sob a forma de H₂SO₄. Existindo ainda, a possibilidade de que seja diretamente absorvido. O ácido sulfúrico, quando em contato com o solo, reage formando sais ou compostos orgânicos; a acidificação que sua presença provoca, comporta uma série de mudanças no comportamento químico do solo,

caracterizado pelo empobrecimento de nutrientes, a mobilização de metais pesados e a destruição da microflora do solo, fato que retarda a mineralização da matéria orgânica, podendo ainda, afetar o desenvolvimento das plantas.

As chuvas ácidas podem determinar a incorporação dos NO_x ao solo, sob a forma de ácido nítrico, e no solo estes assumem a forma de nitritos ou nitratos.

Além disso, os metais pesados, que usualmente ocorrem devido a deposições secas em áreas próximas à sua emissão, acumulam-se normalmente na superfície do solo e raramente deslocam-se em profundidade.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, geralmente, depositam-se na superfície do solo, sua via primordial de contaminação, e podem ser absorvidos pelas raízes, penetrando mediante esta forma na “cadeia trófica”.

Finalmente os elementos radiativos, cuja presença em áreas agrícolas evidencia grave perigo, e que podem permanecer no solo devido ao mecanismo de retenção.

Algumas atividades industriais provocam a liberação para a atmosfera de substâncias específicas contaminantes do solo, sendo descritas a seguir alguns exemplos destas e seus efeitos nocivos:

- . As indústrias metalúrgicas, siderúrgicas e minerais liberam elevadas quantidades de metais, substâncias não voláteis que podem ser depositadas no solo em sua forma elementar ou mediante compostos de sais e óxidos. No solo esses metais formam complexos e quelatos com a matéria orgânica, limitando sua mobilidade. Pode dar-se uma situação contrária devido à natureza da fração orgânica do solo favorecer o processo inverso o que faz com que esses metais sejam solubilizados. São exemplos os ácidos húmicos que podem dar origem a complexos insolúveis estáveis e os ácidos fúlvicos que podem originar complexos solúveis;

- . Com a mineração a céu aberto é possível que tenha origem uma modificação absoluta do solo, o qual perde a potencialidade de recurso agrícola e de manutenção da atividade biótica. Dessa forma, esse solo será erodido com facilidade, afetando o relevo e a paisagem. Os resíduos que se formam a partir dessa atividade convertem-se em elementos altamente contaminantes para solos e águas;

- . Materiais plásticos produzidos nas indústrias químicas caracterizam-se por sua baixa biodegradabilidade e sua toxicidade é desconhecida. Os produtos originados com a combustão incompleta desses materiais dão origem a outros compostos, altamente tóxicos. O solo, por sua vez, não consegue eliminar esse tipo de composto o que facilita sua transferência para camadas mais profundas;

. Enxofre (SO₂, H₂S, R-SH), flúor e metais voláteis (Hg, Cd) entre tantos outros, são liberados para a atmosfera, transferindo-se desta para o solo, provenientes de várias outras atividades industriais.

2.3.8 Técnicas de recuperação

As operações efetivadas para o controle, a diminuição ou a eliminação dos contaminadores e os efeitos decorrentes deles, formam um conjunto que comumente é denominado ‘tratamento e recuperação de solos contaminados’. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Frente a uma área, cujo solo apresente-se contaminado, torna-se necessária, a priori, a efetivação de um estudo de viabilidade que deve incluir informações a respeito de outros estudos significativos sobre o problema a ser resolvido: análise dos riscos desse investimento; possíveis alternativas de recuperação e o custo econômico estimado para a realização dela. (ROSS, 2000)

O conhecimento das potencialidades dos recursos naturais de um determinado sistema natural passa pelos levantamentos dos solos, relevo, rochas e minerais, das águas, do clima, da flora e fauna, enfim, de todas as componentes do estrato geográfico que dão suporte à vida animal e ao homem. Para análise da fragilidade, entretanto, exige-se que esses conhecimentos setorizados sejam avaliados de forma integrada, calcada sempre no princípio de que na natureza a funcionalidade é intrínseca entre as componentes físicas, bióticas e sócio-econômicas [...] As fragilidades dos ambientes naturais devem ser avaliadas quando se pretende aplicá-las ao planejamento ambiental. (ROSS, 2000)

Dessa forma, a avaliação de viabilidade exige que sejam realizados estudos básicos do relevo, da litologia-estrutura do solo, de seu uso e do clima da região em que está localizado. “Os estudos passam, obrigatoriamente, pelos levantamentos de campo, pelos serviços de gabinete, a partir dos quais se geram produtos cartográficos temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia e uso da terra/vegetação”. (ROSS, 2000)

Os critérios utilizados para os variáveis solos passam pelas características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas, e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Tais características estão diretamente relacionadas com relevo, litologia e clima, elementos motores da pedogênese e fatores determinantes das características físicas e químicas dos solos. (ROSS, 2000)

Segundo a Fundação Universitária Iberoamericana, o resultado obtido desse estudo deverá nortear três alternativas: (ROSS, 2000)

- . no caso de evidenciar-se que não será possível que se realize a recuperação, o solo deverá ser caracterizado e registrado como contaminado. Esta constatação limitará seu uso no futuro,

- . havendo possibilidade de contenção ou isolamento da contaminação, deve-se seguir como critério uma série de medidas que tornem impossível a continuidade do processo de degradação, as quais deverão ser seguidas de outras, no sentido de reduzir o problema;

- . a última etapa do processo consiste na recuperação do solo, que deverá ser feita de acordo com pesquisas sobre as melhores técnicas que poderão resolver o problema. A técnica escolhida deverá ter como base o resultado esperado, devendo contemplar enquanto condicionantes: a normatização estabelecida, a classificação dos usos do solo (agrícola, ocioso ou outros) e o custo econômico previsto.

As pesquisas básicas associadas à erosão dos solos são fundamentais tanto para as práticas agrícolas como para subsidiar o planejamento ambiental, onde as práticas econômicas devem ser calcadas em princípios conservacionistas. Assim sendo, essas preciosas informações podem ser usadas como suporte quantitativo à análise até então feita de forma qualitativa para a fragilidade dos ambientes naturais. (ROSS, 2000)

Seguindo-se o planejamento para a recuperação que foi escolhido existem dois grupos utilizados para os tratamentos, ou seja, ‘*Ex-situ*. Eliminação dos contaminantes sob prévia mobilização e traslado do solo a centro de tratamento [...] *In-situ*. Eliminação dos contaminantes sobre o terreno’. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Constitui-se primordial que no planejamento de ações para a recuperação de um solo seja realizada a vinculação entre o agente contaminante às possibilidades de tratamento existentes.

Existem várias formas para a recuperação de solos, sendo exemplos:

- . os tratamentos para a contenção ou isolamento da contaminação; (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- . tratamento para a recuperação de solos contaminados que abrangem as categorias *in-situ* e *ex-situ*; (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

São exemplos de técnicas de recuperação de solos:

- . limpeza de solos com contaminações pontuais, que pode ser utilizada na recuperação de aterros urbanos, vazamentos nos tanques dos postos de gasolina e outros. Essa técnica exige a efetivação de etapas específicas: “imobilização ou contenção da massa

contaminante, extração e reação”; (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- . tratamento ex-situ por biorremediação, baseia-se na imitação, embora de forma acelerada, do processo depurativo natural, efetivado pelos microorganismos do solo; (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- . tratamento ex-situ por métodos físico-químicos, os quais podem ser utilizados no tratamento de solos arenosos, na presença de metais pesados, cianetos, pesticidas, hidrocarbonetos clorados e hidrocarbonetos que apresentem biodegradação dificultada, sendo exemplos os hidrocarbonetos poliaromáticos;

- . tratamento ex-situ por lavagem, conhecido como ‘processo Soilex’ baseia-se na obtenção de uma suspensão de solo e solvente, normalmente a água. “Esta suspensão é filtrada em um filtro de vapor a pressão, eliminando as substâncias contaminantes”; (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- . fitoemenda ou fitorremediação, a qual utiliza árvores e plantas para a realização da limpeza dos solos e das águas contaminadas. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

A fitorremediação, enquanto método de recuperação do meio ambiente e dos solos utilizados para processos agrícolas apresenta como vantagens: a característica ecológica, traduzida pela passividade, a estética agradável e o aproveitamento da energia solar enquanto condutor; e, o fato de constituir-se em alternativa economicamente viável, quando comparada com outros métodos de limpeza, como os do tipo mecânico, principalmente, quando é utilizado em áreas com baixos níveis contaminantes. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Nesse método a escolha da planta é essencial para a eficácia dos resultados esperados, uma vez que existe uma gama diversificada de agentes contaminadores: metais, pesticidas, solventes, explosivos, óleos, hidrocarbonetos poliaromáticos e lixiviados de vertedouros. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

No entanto, apresenta algumas limitações, das quais, as mais significativas estão relacionadas ao alcance limitado, que diz respeito à profundidade das raízes e à lentidão do processo. Outro fator considerado como limitante é o fato de constituir-se em técnica recente, em processo de desenvolvimento e investigação.

Dessa forma, algumas desvantagens são identificadas, tais como: (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

- . concentrações elevadas de agentes contaminadores inviabilizam a recuperação, porque são tóxicos para as plantas;
- . pode haver contaminação das plantas se forem consumidas por insetos ou roedores haverá penetração por essa via na cadeia alimentar;
- . condições climáticas e sazonais podem interferir no tratamento, tornando-o ainda mais longo;
- . o tratamento deve contemplar o modo pelo qual será descartada a contaminação da biomassa dele originada.

Mesmo frente a essas desvantagens, a fitorremediação constitui-se viável, principalmente, porque outros métodos, mecânicos ou biológicos, não demonstram elevado potencial de resolubilidade.

2.3.7.1 Prevenção e avaliação da contaminação de solos

Existem vários aspectos que devem ser levados em conta para a prevenção da contaminação edáfica, sendo exemplos: medidas preventivas e paliativas nos diversos âmbitos ambientais; a utilização na medida exata das necessidades dos solos agrícolas, no que diz respeito ao uso de agentes contaminadores como os fertilizantes inorgânicos; utilização de pesticidas somente no momento adequado, na forma e nas quantidades necessárias e correção nas práticas agrícolas.

Através do uso das práticas conservacionistas pode-se cultivar o solo, sem depauperá-lo significativamente, quebrando assim um aparente conflito ecológico que existe entre a ação do homem e o equilíbrio do meio ambiente. Estas práticas [...] permitem controlar a erosão, não anulando-a completamente, mas reduzindo-a a proporções insignificantes. (LEPSCH, 1977)

Algumas práticas podem prevenir a contaminação de solos, sendo exemplos: a rotação de cultivos com leguminosas, as quais têm a capacidade de enriquecer o solo com nitrogênio e permitem a redução de doses de reforço nitrogenado; o fornecimento periódico de matéria orgânica, porque estas se mineralizam com o decorrer do tempo, depauperando o solo. Esta prática pode trazer melhorias às propriedades físico-químicas do solo, auxiliando de forma indireta para o aumento da fertilidade e redução do processo erosivo. No entanto, cabe a ressalva, de que no momento em que a matéria orgânica seja fornecida ao solo, esta seja avaliada quanto a sua qualidade e quantidade. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

“Essas práticas são, portanto, essencialmente benéficas a todos, porque proporcionam tranqüilidade tanto ao agricultor como ao cidadão. Para executá-las necessita-se sobretudo conhecer o solo que se está utilizando, pois para conservá-lo precisa-se saber como ele é constituído e como se formou. A pedologia é, portanto, muito útil para o estabelecimento das bases teóricas necessárias ao estabelecimento das práticas conservacionistas”. (LEPSCH, 1977)

A prevenção de prejuízos ao meio ambiente prescinde de adequação no manejo e na exploração dos recursos naturais, assim como de outras atividades econômicas desenvolvidas na superfície terrestre, sendo que o manejo adequado exige planejamento do uso do solo, que preveja a prevenção de danos ou, pelo menos, sua minimização. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, [200?])

Existem vários meios para a conservação do solo que podem ser classificados como práticas de caráter edáfico, vegetativo e mecânico. As primeiras relacionam-se ao solo em si, e buscam manter ou melhorar sua fertilidade. “Este conjunto de medidas está resumido em quatro princípios básicos [...] ajustamento à capacidade de uso [...] eliminação ou controle das queimadas [...] adubações [...] rotação de culturas”.

O ajustamento à capacidade de uso diz respeito ao fato de que cada tipo de solo apresenta um limite máximo de possibilidade de uso, devendo ser explorado de forma que os riscos de erosão sejam ou eliminados ou minimizados. As adubações adicionam ao solo os nutrientes que faltam para proporcionar-lhe melhor desenvolvimento no que tange ao cultivo, corrigindo deficiências naturais do solo, compensando os nutrientes removidos com as colheitas. O sistema de rotação de cultura determina a alternância de diferentes culturas em um mesmo terreno, mediante uma seqüência regular, tendo como base que as culturas possuem exigências diferentes e a rotação fará com que os adubos adicionados aos solos sejam aproveitados com maior eficácia. (LEPSCH, 1977)

As práticas de caráter vegetativo buscam o controle da erosão, aumentando a cobertura vegetal do solo, o que pode ser obtido pelo reflorestamento, a formação e manejo adequado de pastagens, o cultivo em faixas com renques de vegetação em nível que interceptam o escoamento das águas, além do plantio de grama nos taludes das estradas. A implementação de faixas de árvores formando quebra-ventos, o controle das capinas, no qual o mato deve ser roçado e não arrancado, e finalmente a cobertura do solo com palha ou acolchoamento. (LEPSCH, 1977)

As práticas de caráter mecânico relacionam-se com o trabalho de conservação do solo, mediante a utilização de maquinário específico, que possa corrigir declives muito acentuados pela construção de canais ou patamares em nível, interceptando assim, as águas das enxurradas. Entre as várias práticas mecânicas que possibilitam a conservação do solo encontram-se aquelas relacionadas com preparo do solo e plantio em curvas de nível, subsolagem, terraços do tipo camalhão, terraços do tipo patamar, disposição racional dos carregadores, banquetas individuais, estruturas para desvio e infiltração das águas que escoam das estradas, as estruturas para controles de voçorocas, plantio direto com máquinas especiais e aplicação de herbicidas, sendo que este último processo dispensa a aração. (LEPSCH, 1977)

2.4 METAIS PESADOS

Metais pesados são quimicamente e altamente reativos e bio-acumulativos, ou seja, o organismo não é capaz de eliminá-los. (OHLWEILER, 1971)

Acredita-se que os metais, talvez, sejam os agentes tóxicos mais conhecidos pelo homem. Há aproximadamente 2.000 anos a.C., grandes quantidades de chumbo eram obtidas de minérios, como subproduto da fusão da prata. Este fato provavelmente tenha sido o início da utilização desse metal pelo homem.

Os metais pesados diferem de outros agentes tóxicos, porque não são sintetizados nem destruídos pelo homem. A atividade industrial diminui significativamente a permanência desses metais nos minérios, bem como a produção de novos compostos, além de alterar a distribuição desses elementos no planeta.

Segundo Campos, [200?], a presença de metais muitas vezes está associada à localização geográfica, seja na água ou no solo, e pode ser controlada, limitando o uso de produtos agrícolas e proibindo a produção de alimentos em solos contaminados com metais pesados.

Todas as formas de vida são afetadas pela presença de metais, dependendo da dose e da forma química. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano, mas eles são requeridos em baixas concentrações e podem danificar sistemas biológicos.

Os metais são classificados em:

- Elementos essenciais: sódio, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, níquel e magnésio;
- Micro-contaminantes ambientais: arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, alumínio, titânio, estanho e tungstênio;
- Elementos essenciais e simultaneamente micro-contaminantes: cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel. (CAMPOS, [200?])

Os efeitos tóxicos dos metais sempre foram considerados como eventos de curto prazo, agudos e evidentes, como anúria e diarreia sanguinolenta, decorrentes da ingestão de mercúrio. Atualmente, ocorrências a médio e longo prazo são observadas, e as relações causa-efeito são pouco evidentes e quase sempre subclínicas. Geralmente, esses efeitos são difíceis de serem distinguidos e perdem em especificidade, pois podem ser provocados por outras substâncias tóxicas ou por interações entre esses agentes químicos.

A manifestação dos efeitos tóxicos está associada à dose e pode distribuir-se por todo o organismo, afetando vários órgãos, alterando os processos bioquímicos, organelas e membranas celulares. (OHLWEILER, 1971)

Acredita-se que pessoas idosas e crianças sejam mais susceptíveis às substâncias tóxicas. As principais fontes de exposição aos metais tóxicos são os alimentos, observando-se um elevado índice de absorção gastrointestinal.

Em adição aos critérios de prevenção usados em saúde ocupacional e de monitorização ambiental, a biomonitorização tem sido utilizada como indicador biológico de exposição, e toda substância ou seu produto de biotransformação, ou qualquer alteração bioquímica observada nos fluídos biológicos, tecidos ou ar exalado, mostra a intensidade da exposição e/ou a intensidade dos seus efeitos.

Quimicamente, os metais pesados são definidos como um grupo de elementos situados entre o cobre e o chumbo na tabela periódica, tendo pesos atômicos entre 63,546 e 200,590 e gravidade específica superior a 4,0. (RONDÓ, 2001)

Os seres vivos necessitam de pequenas quantidades de alguns desses metais, incluindo cobalto, cobre, manganês, molibdênio, vanádio, estrôncio, e zinco, para a realização de funções vitais no organismo. Porém níveis excessivos desses elementos podem ser extremamente tóxicos. Outros metais pesados como o mercúrio, chumbo e cádmio não possuem nenhuma função dentro dos organismos, e a sua acumulação pode provocar graves doenças, sobretudo nos mamíferos.

Quando lançados como resíduos industriais, na água, no solo ou no ar, esses elementos podem ser absorvidos pelos vegetais e animais das proximidades, provocando graves intoxicações ao longo da cadeia alimentar.

O arsênio (As) é um metal de ocorrência natural, sólido, cristalino, de cor cinza-prateada. Exposto ao ar perde o brilho e torna-se um sólido amorfo de cor preta. Esse metal é utilizado como agente de fusão para metais pesados em processos de soldagens e na produção de cristais de silício e germânio. O arsênico é usado na fabricação de munição, ligas e placas de chumbo de baterias elétricas. Na forma de arsênio é usado como herbicida e como arsenato, é usado nos inseticidas.

No homem produz efeitos nos sistemas respiratório, cardiovascular, nervoso e hematopoiético. No sistema respiratório ocorre irritação com danos nas mucosas nasais, laringe e brônquios. Exposições prolongadas podem provocar perfuração do septo nasal e rouquidão característica e, em longo prazo, insuficiência pulmonar, traqueobronquite e tosse crônica.

No sistema cardiovascular são observadas lesões vasculares periféricas e alterações no eletrocardiograma. No sistema nervoso, as alterações observadas são sensoriais e polineuropatias, e no sistema hematopoiético observa-se leucopenia, efeitos cutâneos e hepáticos. Tem sido observada também a relação carcinogênica do arsênio com o câncer de pele e brônquios.

Assim como o arsênio, o cádmio (Cd) é encontrado na natureza, porém, quase sempre junto com o zinco, em proporções que variam de 1:100 a 1:1000, na maioria dos minérios e solos. É um metal que pode ser dissolvido por soluções ácidas e pelo nitrato de amônio. Quando queimado ou aquecido, produz o óxido de cádmio, pó branco e amorfo ou na forma de cristais de cor vermelha ou marrom. É obtido como subproduto da refinação do zinco e de outros minérios, como chumbo-zinco e cobre-chumbo-zinco. A galvanoplastia (processo eletrolítico que consiste em recobrir um metal com outro) é um dos processos industriais que mais utiliza o cádmio (entre 45 a 60% da quantidade produzida por ano). (TREVORS, 1986)

O homem expõe-se ocupacionalmente na fabricação de ligas, varetas para soldagens, baterias Ni-Cd, varetas de reatores, fabricação de tubos para TV, pigmentos, esmaltes e tinturas têxteis, fotografia, litografia e pirotecnia, estabilizador plástico, fabricação de semicondutores, células solares, contadores de cintilação, retificadores e lasers.

O cádmio existente na atmosfera é precipitado e depositado no solo agrícola na relação aproximada de 3 g/hectares/ano. Rejeitos não-ferrosos e artigos que contêm cádmio contribuem, significativamente, para a poluição ambiental. Outras formas de contaminação do solo são através dos resíduos da fabricação de cimento, da queima de combustíveis fósseis e lixo urbano e de sedimentos de esgotos.

Na agricultura, uma fonte direta de contaminação pelo cádmio é a utilização de fertilizantes fosfatados. Sabe-se que a captação de cádmio pelas plantas é maior quanto menor o pH do solo. Nesse aspecto, as chuvas ácidas representam um fator determinante no aumento da concentração do metal nos produtos agrícolas.

A água é outra fonte de contaminação e deve ser considerada não somente pelo seu consumo como água potável, mas também pelo seu uso na fabricação de bebidas e no preparo de alimentos. Sabe-se que a água potável possui baixos teores de cádmio (cerca de 1 mg/L), o que é representativo para cada localidade.

O cádmio é um elemento de vida biológica longa (10 a 30 anos) e de lenta excreção pelo organismo humano. O órgão alvo primário nas exposições ao cádmio em longo prazo é o rim. Os efeitos tóxicos provocados por ele compreendem, principalmente, distúrbios

gastrointestinais, após a ingestão do agente químico. A inalação de doses elevadas produz intoxicação aguda, caracterizada por pneumonite e edema pulmonar.

A progressiva utilização do mercúrio para fins industriais e o emprego de compostos mercuriais durante décadas na agricultura, resultaram no aumento significativo da contaminação ambiental, especialmente da água e dos alimentos.

Uma das razões que contribuem para o agravamento dessa contaminação é a característica singular do Ciclo do Mercúrio no meio ambiente. A biotransformação por bactérias do mercúrio inorgânico, a metilmercúrio, é o processo responsável pelos elevados níveis do metal no ambiente.

O mercúrio é um líquido inodoro e de coloração prateada. Os compostos mercúricos apresentam uma ampla variedade de cores.

Nos processos de extração, o mercúrio é liberado no ambiente, principalmente a partir do sulfeto de mercúrio. Estes e seus compostos são encontrados na produção de cloro e soda cáustica (eletrolise), em equipamentos elétricos e eletrônicos (baterias, retificadores, relés, interruptores etc), aparelhos de controle (termômetros, barômetros, esfigmomanômetros), tintas (pigmentos), amálgamas dentárias, fungicidas (preservação de madeira, papel, plástico etc), lâmpadas de mercúrio, laboratórios químicos, preparações farmacêuticas, detonadores, óleos lubrificantes, catalisadores e na extração de ouro. (SALGADO, 1996)

O trato respiratório é a via mais importante de introdução do mercúrio. Esse metal demonstra afinidade por tecidos como células da pele, cabelo, glândulas sudoríparas, glândulas salivares, tireóide, trato gastrointestinal, fígado, pulmões, pâncreas, rins, testículos, próstata e cérebro.

A exposição à elevadas concentrações desse metal pode provocar febre, calafrios, dispnéia e cefaléia, durante algumas horas. Sintomas adicionais envolvem diarreia, câibras abdominais e diminuição da visão. Casos severos progredem para edema pulmonar, dispnéia e cianose. As complicações incluem enfisema, pneumomediastino e morte. Raramente ocorre falência renal aguda.

Pode ser destacado, também, o envolvimento da cavidade oral (gingivite, salivação e estomatite), tremor e alterações psicológicas. A síndrome é caracterizada pelo eretismo (insônia, perda de apetite, perda da memória, timidez excessiva, instabilidade emocional). Além desses sintomas, pode ocorrer disfunção renal.

O cromo é obtido do minério cromita, metal de cor cinza que reage com os ácidos clorídrico e sulfúrico. Além dos compostos bivalentes, trivalentes e hexavalentes, o cromo

metálico e ligas também são encontrados no ambiente de trabalho. Entre as inúmeras atividades industriais, destacam-se: galvanoplastia, soldagens, produção de ligas ferro-cromo, curtume, produção de cromatos, dicromatos, pigmentos e vernizes. (ESCOLA SECUNDARIA ANTONIO SÉRGIO, 2007)

A absorção de cromo por via cutânea depende do tipo de composto, de sua concentração e do tempo de contato. O cromo absorvido permanece por longo tempo retido na junção dermo-epidérmica e no estrato superior da mesoderme.

A maior parte do cromo é eliminada através da urina, sendo excretada após as primeiras horas de exposição. Os compostos de cromo produzem efeitos cutâneos, nasais, bronco-pulmonares, renais, gastrointestinais e carcinogênicos. Os cutâneos são caracterizados por irritação no dorso das mãos e dos dedos, podendo transformar-se em úlceras. As lesões nasais iniciam-se com um quadro irritativo inflamatório, supuração e formação crostosa. Em níveis bronco-pulmonares e gastrointestinais produzem irritação bronquial, alteração da função respiratória e úlceras gastroduodenais.

O manganês é um metal cinza semelhante ao ferro, porém mais duro e quebradiço. Os óxidos, carbonatos e silicatos de manganês são os mais abundantes na natureza e caracterizam-se por serem insolúveis na água. O composto ciclopentadienila-tricarbonila de manganês é bem solúvel na gasolina, óleo e álcool etílico, sendo, geralmente, utilizado como agente anti-detonante em substituição ao chumbo tetraetila.

Entre as principais aplicações industriais do manganês, destacam-se a fabricação de fósforos de segurança, pilhas secas, ligas não-ferrosas (com cobre e níquel), esmalte porcelanizado, fertilizantes, fungicidas, rações, eletrodos para solda, magnetos, catalisadores, vidros, tintas, cerâmicas, materiais elétricos e produtos farmacêuticos (cloreto, óxido e sulfato de manganês). As exposições mais significativas ocorrem através dos fumos e poeiras de manganês.

O trato respiratório é a principal via de introdução e absorção desse metal nas exposições ocupacionais. No sangue, esse metal encontra-se nos eritrócitos, 20-25 vezes maior que no plasma.

Os sintomas dos danos provocados pelo manganês no SNC podem ser divididos em três estágios: 1º: subclínico (astenia, distúrbios do sono, dores musculares, excitabilidade mental e movimentos desajeitados); 2º: início da fase clínica (transtorno da marcha, dificuldade na fala, reflexos exagerados e tremor), e 3º: clínico (psicose maníaco-depressiva e a clássica síndrome que lembra o Parkinsonismo). Além dos efeitos neurotóxicos, há maior incidência de bronquite aguda, asma brônquica e pneumonia.

Recentemente, tem sido noticiado na mídia escrita e falada a contaminação de adultos, crianças, lotes e vivendas residenciais, com metais pesados, principalmente por chumbo e mercúrio. Contudo, a maioria da população não tem informações precisas sobre os riscos e as conseqüências da contaminação por esses metais para a saúde humana.

O caso fatídico em Bauru, SP, é um dos exemplos dessa contaminação. A Indústria de Acumuladores Ajax, uma das maiores fábricas de baterias automotivas do país localizada no km 112 da Rodovia Bauru-Jaú, contaminou com chumbo expelido pelas suas chaminés 113 crianças, sendo encontrados índices superiores a 10 mg/dL. (ACEITUNO, 2002)

Foram constatados, ainda, a contaminação de animais, leite, ovos e outros produtos agrícolas, resultando em um enorme prejuízo para os proprietários. Um dos casos mais interessantes foi o de uma criança de 10 anos, moradora de um núcleo habitacional localizado próximo à fonte poluidora. Desde os 7 meses de idade sofria de diarreia e de deficiência mental. Somente após suspeitas dessa contaminação, em 1999, quando amostras do seu sangue foram enviadas a dois centros toxicológicos nos Estados Unidos, é que foi constatada a intoxicação por chumbo, urânio, alumínio e cádmio. (ACEITUNO, 2002)

A cidade de Paulínia, em SP, e o bairro Vila Carioca, também, foram contaminados pela Shell Química do Brasil. Em Paulínia, dos 166 moradores submetidos a exames, 53% apresentaram contaminação crônica e 56% das crianças revelaram altos índices de cobre, zinco, alumínio, cádmio, arsênio e manganês. Em adição observou-se, também, a incidência de tumores hepáticos e de tireóide, alterações neurológicas, dermatoses, rinites alérgicas, disfunções gastrointestinais, pulmonares e hepáticas. (GUAIME, 2001)

Dos 2,9 milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos gerados anualmente no Brasil, somente 600 mil toneladas recebem tratamento adequado, conforme estimativa da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais (ABETRE). Os 78% restantes são depositados indevidamente em lixões, sem qualquer tipo de tratamento. (CAMPANILI, 2002)

Recentemente a companhia Ingá, indústria de zinco, situada a 85 km do Rio de Janeiro, na ilha da Madeira, que atualmente está desativada, transformou-se na maior área de contaminação de lixo tóxico no Brasil. Metais pesados como zinco, cádmio, mercúrio e chumbo continuam poluindo o solo, a água e atingem o mangue, afetando a vida da população. Isso ocorreu porque os diques construídos para conter a água contaminada não têm recebido manutenção há 5 anos, e dessa forma os terrenos próximos foram inundados, contaminando a vegetação do mangue.

2.4.1 CHUMBO

O chumbo é um elemento metálico, sólido, cinza azulado, conhecido há séculos como sendo potencialmente tóxico. Seu símbolo químico é Pb, número atômico 82, massa atômica 207,21 g.mol⁻¹.

Ocorre naturalmente nos solos e é inerente ao material de origem ocorrendo em níveis muito baixos, não oferecendo maiores riscos, quando os solos são usados sob condições naturais. Porém, o enriquecimento do solo com este elemento através de fontes antrópicas tais como o uso de insumos agrícolas com teores elevados de chumbo, deposições atmosféricas, mineração e resíduos industriais, tem causado sérias preocupações devido a sua elevada toxicidade aos seres humanos e aos animais, mesmo em baixas concentrações. (PIERANGELI, 1999)

É dúctil e maleável, com ponto de fusão 327°C, é solúvel em ácido nítrico e ácido orgânicos, tais como ácido acético, cítrico e outros presentes em alimentos.

O chumbo é produzido a partir de minério tais como a cerrusita (PbCO₃), anglesita (PbSO₄) e galena (PbS), sendo este último a mais importante fonte de chumbo. (RONDÓ, 2001)

Dentre uma lista de 275 substâncias tóxicas consideradas prioritárias para controle nos EUA, o chumbo está entre os que representam mais riscos a população, principalmente, para crianças. A absorção de chumbo pode ocorrer por via digestiva face à penetração de poeiras grossas na sujeira dos dedos levados à boca pelas crianças, em bebidas ou alimentos contaminados, também ocorre pela via respiratória face às partículas finas de poeiras suspensas no ar, fumaças e gases. (WOWK, 2003)

A absorção de chumbo pelo organismo humano, é diferenciada entre crianças e adultos, sendo mais absorvida por crianças. (CHANEY; RYAN, 1994)

O risco de exposição ao chumbo é mais elevado em crianças do que em adolescente/adultos, devido ao fato das crianças terem uma maior facilidade de absorção intestinal de metais pesados, e também devido ao aumento de 40 vezes da deposição de chumbo no sistema ósseo.

A concentração média de chumbo na crosta terrestre é de aproximadamente 16 mg/kg, destacam-se teores de chumbo em diversas classes de solos brasileiros, variando de 0,5 a 36,5 mg/kg e de 2,5 a 156 mg/kg, respectivamente.

Quando um elemento químico é lançado nos solos, ele interage com os componentes dos mesmos, podendo seguir vários destinos: ser absorvido ou fixado nos

colóides, formar precipitados, ser lixiviado ou absorvido por plantas. Todos esses processos são bastante complexos e são governados por vários tributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos além da concentração e características inerentes do elemento.

O chumbo quando é liberado no ambiente, tem um longo tempo de residência, quando comparado com a maioria dos produtos poluentes, tendendo a acumular nos solos e sedimentos, onde, devido à sua baixa solubilidade e relativa dificuldade para degradação microbiana, pode permanecer acessível para a cadeia alimentar e, conseqüentemente, para o homem, a qualquer tempo futuro. (ALLOWAY, 1990)

Os níveis de chumbo no solo considerados tóxicos variam de 100 a 500mg/kg (ALLOWAY, 1990), entretanto não existem critérios estabelecidos para diferenciação destes níveis que elevem em conta as características dos solos, tais como pH, CTC, conteúdo de matéria orgânica e mineralogia dos solos. (COOK; HENDERSHOTN, 1996)

De acordo com o trabalho desenvolvido pela CETESB em 2001 foram estabelecidos critérios, valores e padrões como referência para problemas de contaminação do solo e águas subterrâneas. Esses valores de referência foram obtidos a partir de estudos iniciados em 1994, em diversas localidades de São Paulo. Esses estudos geraram dados mais específicos sobre os solos e as águas subterrâneas, a fim de se criar uma tabela de valores referenciais de qualidade, de alerta e intervenção, considerando as condições climáticas do solo, hidrogeológicas e tecnológicas para os principais contaminantes.

O valor de referência (R) de qualidade indica a concentração natural de uma substância em solos ou em águas subterrâneas que não tenham sido impactados antropogenicamente. Para determinar os valores de qualidade, foram considerados dois grupos de substâncias: as naturalmente presentes no solo e as geradas ou isoladas em processos industriais.

Para determinar os limites adequados, foram realizadas análises químicas em diversos solos do estado.

O chumbo ocorre como contaminante ambiental devido ao seu grande emprego industrial, destacando-se entre outras, a indústria extrativa, petrolífera, de acumuladores, de tintas e corantes, cerâmica, gráfica e bélica.

A contaminação do solo pode advir de forma natural ou geológica, ou pode ocorrer das atividades exercidas pelo homem, como mineração, indústria e transporte. Assim o chumbo participa intensamente no mundo onde o homem vive, e sua concentração ambiental oscila de local para local. A população defronta-se com este problema devido á constante

emissão por veículos automotores, pelas indústrias ou ainda pela ingestão de alimentos sólidos e líquidos contaminados.

2.4.2 INTOXICAÇÕES POR CHUMBO

As intoxicações humanas por chumbo, podem ocorrer por exposição moderada, intensa ou leve. A curto, médio ou longo prazo, dependendo do grau de contaminação e tempo de exposição no ambiente em que vive ou ainda em que trabalha. (LARINI, 1997)

O chumbo provoca diversas alterações bioquímicas, todas elas deletérias, não existindo evidências de uma função essencial do mesmo no organismo humano.

Apresentando uma configuração eletrônica que lhe confere valência dois e um orbital 6p livre, tem a capacidade de formar ligações covalentes, principalmente, com átomos de enxofre de compostos biológicos e, também, com grupos amínicos, carboxílicos e imidazólicos. Segundo Larini, 1997, nestas circunstâncias o chumbo pode provocar alterações nas estruturas terciárias das moléculas bioquímicas e, ao mesmo tempo, alterar ou destruir a função bioquímica normal.

Suas principais ações tóxicas no organismo são:

No sistema nervoso: os efeitos do composto inorgânico de chumbo no sistema nervoso variam com a duração e a intensidade da exposição. Nas exposições crônicas os efeitos mais evidentes referem-se à encefalopatia, com irritabilidade, cefaléia, tremor muscular, alucinações, perda de memória e da capacidade de concentração. Esses sinais podem progredir até o delírio, a mania, convulsões, paralisia e coma.

No sistema renal: em adultos e crianças o chumbo provoca dois efeitos distintos em nível renal: um dano reversível no túbulo proximal e uma lenta e progressiva deficiência renal, envolvendo redução na função glomerular associada a danos vasculares e fibrose.

No fígado: os transtornos hepáticos são mais evidentes, somente, quando em intoxicações severas. A exposição do chumbo tetra etila pode ocasionar alterações na biotransformação de compostos exógenos e de numerosas substâncias endógenas.

- Absorção, distribuição e excreção

Absorção (LARINI, 1997)

O chumbo existente no ambiente pode ser introduzido no organismo através de inalação (ar atmosférico), ingestão (contaminação de água, alimentos ou solo) bem como pela via cutânea (compostos de chumbo lipossolúveis).

A deposição, retenção e absorção de partículas no trato respiratório é muito complexa e difícil de ser avaliada, devido às diferenças existentes no tamanho, densidade, solubilidade das partículas, natureza higroscópica, ritmo respiratório e duração de exposição. Calcula-se que 39 a 47% do chumbo inalado seja retido nos pulmões.

Em via digestiva, estudos mostram que o chumbo quando incorporado na dieta é absorvido em cerca de 10 %. Muito pouco se sabe a respeito do mecanismo pelo qual o chumbo é transportado através da mucosa intestinal para a circulação sistêmica. Esta absorção depende, além das propriedades físico-químicas dos compostos do chumbo, dos níveis de cálcio, magnésio, ferro, fósforo e vitamina D presentes na dieta.

A via cutânea na absorção de chumbo assume a importância, principalmente, nas exposições ocupacionais e esta absorção depende, fundamentalmente, das propriedades físico-químicas do agente tóxico, tais como tamanho da molécula, lipossolubilidade, grau de ionização, entre outras. Os compostos inorgânicos de chumbo não são praticamente absorvidos pela pele intacta. Na epiderme, o *stratum corneum* e o *stratum lucidum* são extremamente densos, constituídos pela queratina, apresentando cargas eletronegativas que repelem os ânions e impedem a penetração profunda dos cátions, constituindo-se assim, uma barreira eficiente do tecido cutâneo na absorção de compostos metálicos. Ainda, a existência na pele de um filme lipídico resulta na não absorção dos compostos metálicos hidrossolúveis.

Por outro lado, os compostos orgânicos de chumbo são absorvidos através da pele intacta, devido a sua alta lipossolubilidade.

Distribuição no organismo (LARINI, 1997)

Após ser absorvido, o chumbo é distribuído pelo sangue aos diversos órgãos e sistemas. No sangue liga-se aos eritrócitos numa proporção superior a 90% e o mecanismo desta ligação não está ainda perfeitamente definido, o mesmo ocorrendo com relação à sua transferência do sangue aos diversos tecidos.

A concentração de sangue é de fundamental importância na avaliação da exposição ao chumbo e os valores do chumbo sangüíneo são indicativos para o diagnóstico de quadros

de intoxicações agudas, como o índice para avaliar as condições de riscos em indivíduos expostos ocupacionalmente e para o controle da população em geral. Valores abaixo de 40µg/100mL de sangue são considerados normais em indivíduos não ocupacionalmente expostos.

Cerca de 90% do chumbo, normalmente encontrado no organismo, estão depositados nos ossos em forma de trifosfato.

O teor total de chumbo no organismo normal oscila de 100 a 400 mg e aumenta com a idade.

Excreção (LARINI, 1997)

Cerca de 90% do chumbo ingerido não sofre absorção pelo organismo humano, sendo excretado, principalmente, pela urina e pelas fezes. Esta elevada proporção de chumbo excretado é explicada em função de seu trânsito no trato intestinal sob forma de sulfetos insolúveis.

Estudos demonstram que após a administração endovenosa de chumbo, ocorre uma eliminação de cerca de 25% pela urina e 10% pelas fezes durante as primeiras 24 horas. A eliminação renal envolve um processo de filtração glomerular e transporte transtubular.

Os rins excretam quantidades elevadas de chumbo somente quando sua concentração sangüínea é elevada, e uma correspondência entre o chumbo urinário e o absorvido é encontrada somente para compostos orgânicos. Todavia, a determinação do teor urinário de chumbo pode ser útil na indicação de exposição, quando acompanhada de outros parâmetros mensuráveis.

As glândulas salivares, o suor e o leite desempenham um papel secundário na excreção do agente tóxico.

2.4.3 SINAIS E SINTOMAS

Segundo Larini, 1997, as intoxicações com sais de chumbo não são freqüentes sendo, quando ocorrem, geralmente, acidentais e em poucos casos criminais ou suicidas.

As intoxicações crônicas compreendem:

- a) Precoces: anorexia, perda de peso, constipação, apatia ou irritabilidade, vômitos ocasionais, fadiga, cefaléia, gosto metálico, anemia e linha plúmbica na gengiva;
- b) Avançados: vômitos intermitentes, irritabilidade, incoordenação, dores vagas nos ombros, articulações e abdômen, distúrbios do ciclo menstrual, etc e

- c) Graves: vômitos persistentes, ataxias, períodos de torpor ou letargia, encefalopatia, delírios, convulsões e coma.

2.4.4 Controle da exposição ocupacional

Na atmosfera de trabalho o controle de chumbo é realizado segundo as normas estabelecidas no Brasil, pela portaria nº 3214/78, do Ministério do Trabalho, que regulamenta os limites de tolerância. Esta portaria fixa em $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ o limite de tolerância para o chumbo.

O controle biológico é realizado pela utilização de índices de exposição que fornecem informações quanto aos níveis de absorção de chumbo e às alterações bioquímicas por ele provocadas.

2.5 IMPACTO AMBIENTAL

Impacto Ambiental é qualquer alteração benéfica ou adversa causada pelas atividades, serviços e/ou produtos de uma atividade natural (vulcões, tsunamis, enchentes, terremotos e outras) ou antrópica (lançamento de efluentes, desmatamentos, etc).

Às vezes, é o resultado da intervenção do ser humano sobre o meio ambiente. O impacto ambiental pode ser positivo ou negativo, dependendo da qualidade da intervenção desenvolvida. A ciência e a tecnologia podem ser utilizadas corretamente, contribuir enormemente para que o impacto humano sobre a natureza seja positivo e não negativo.

Pode-se tomar como conhecimento mais específico:

Que o Impacto Ambiental é consequência da ação ou atividade, natural ou antrópica, que produz alterações bruscas em todo o meio ambiente ou em parte de alguns de seus componentes. De acordo com o tipo de alteração, pode ser ecológica, social e/ou econômica. (CONAMA, 1986)

As medidas de impacto podem ser realizadas nos diversos níveis de organização dos seres vivos: subcelular, celular, populacional e ecossistêmico. Impactos observados em níveis inferiores de organização podem ter implicações nos níveis superiores. Os efeitos observados em nível subcelular, celular e populacional refletem na estrutura das comunidades bióticas, podendo-se observar uma diminuição da biodiversidade e uma deterioração do patrimônio genético local. Entretanto, nem todo impacto observado em nível fisiológico, subcelular e celular irá refletir-se em nível das populações. Deste modo, as análises da estrutura das comunidades e processos do ecossistema fornecem a palavra final sobre os impactos ambientais da mineração.

De acordo com Sinderman (1996), e outros autores, as respostas da biota aos poluentes são distribuídas no tempo: algumas ocorrendo imediatamente após o evento poluidor, enquanto que outras podem levar meses para se manifestar. Existem três abordagens complementares que visam determinar a existência de impactos ambientais: a mensuração de concentrações de poluentes no meio físico (água e sedimento) e biótico (bioacumulação); os estudos de laboratório ou de campo que visam estabelecer a existência de respostas toxicológicas dos organismos aos poluentes, e os estudos de campo sobre modificações na estrutura e processos dos ecossistemas.

Estudo de Impacto Ambiental é um dos instrumentos de avaliação de impacto ambiental. No Brasil foi instituído dentro da política nacional do meio ambiente - PNMA,

através da resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA N.º 001/86, de 23 de janeiro de 1986. Trata-se da execução, por equipe multidisciplinar, das tarefas técnicas e científicas destinadas a analisar, sistematicamente, por meio de métodos e técnicas de previsão dos impactos ambientais. O estudo realiza-se sob orientação da autoridade ambiental responsável pelo licenciamento do projeto em questão que, por meio de instruções técnicas específicas ou termos de referência, indica a abrangência do estudo e os fatores ambientais a serem considerados detalhadamente, com o objetivo da obtenção de uma licença ambiental de funcionamento de um empreendimento.

Para se obter um licenciamento ambiental, pode-se ser obrigado a realizar estudos prévios de impacto ambiental (EPIA) e apresentar o respectivo Estudo (EIA), o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), os projetos de atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas de significativo potencial de degradação ou poluição e as medidas mitigadoras.

Neste caso, o licenciamento ambiental pode necessitar de uma série de procedimentos específicos, inclusive realização de audiência pública que envolva diversos segmentos da população interessada ou afetada pelo empreendimento.

Algumas atividades consideradas modificadoras do meio ambiente

- Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento;
- Ferrovias;
- Portos e terminais de minério, petróleo e produtos químicos;
- Aeroportos;
- Oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgotos sanitários;
- Linhas de transmissão de energia elétrica, acima de 230 kV;
- Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem para fins hidroelétricos, acima de 10MW, de saneamento, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques;
- Extração de combustível fóssil (petróleo, xisto, carvão);
- Extração de minério;
- Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;
- Usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima de 10MW;

- Complexo e unidades industriais e agro-industriais (petroquímicos, siderúrgicos, cloroquímicos, destilarias de álcool, hulha, extração e cultivo de recursos hídricos);
- Distritos industriais e zonas estritamente industriais - ZEI;
- Exploração econômica de madeira ou de lenha, em áreas acima de 100 hectares ou menores, quando atingir áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental;
- Projetos urbanísticos, acima de 100 ha. ou em áreas consideradas de relevante interesse ambiental;
- Qualquer atividade que utilize carvão vegetal, em quantidade superior a dez toneladas por dia;
- Parque eólico.

2.5.1 Avaliação de Impacto Ambiental

Toda atividade econômica gera trabalho, renda e divisas para o Estado. Mas, a extração de recursos naturais, seu processamento industrial e o descarte dos resíduos gerados nesses processos podem representar riscos ao equilíbrio dos diversos sistemas ecológicos. (FATMA, 2008)

Para permitir estas atividades e, ao mesmo tempo, evitar os riscos aos diversos ecossistemas, a legislação brasileira exige das empresas o licenciamento ambiental. Em Santa Catarina, é a FATMA a responsável legal por essa atribuição. (FATMA, 2008)

Avaliação de Impactos Ambientais são estudos efetuados, geralmente por equipes multidisciplinares, para empreendimentos que possam vir a causar problemas ambientais. Existem normas referentes ao monitoramento de impactos ambientais. O órgão brasileiro que regulamenta a legislação e emite Resoluções (normas), para todo o território brasileiro, é o CONAMA.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA foi instituído pela Lei nº. 6.938, de 31 de agosto de 1981, como um órgão normativo na área ambiental (CONAMA, 1986)

Lei 6.938/81 Estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente. O licenciamento e a revisão de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras são colocados como instrumentos dessa política. (IBAMA, 2007)

O órgão executivo, em nível federal, é o IBAMA, encarregado de fiscalizar as leis e as Resoluções do CONAMA. Cada Estado da Federação possui seu órgão estadual correspondente, como a FEEMA, no Estado do Rio de Janeiro e a CETESB, em São Paulo.

2.5.2 Relatório de Impacto Ambiental

O Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) é o relatório que reflete todas as conclusões apresentadas num Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Deve ser elaborado de forma objetiva e possível de se compreender, ilustrado por mapas, quadros, gráficos, enfim, por todos os recursos de comunicação visual.

Deve também respeitar o sigilo industrial (se este for solicitado) e pode ser acessível ao público. Para isso, deve constar no relatório:

- 1 - Objetivos e justificativas do projeto e sua relação com políticas setoriais e planos governamentais;
- 2 - Descrição e alternativas tecnológicas do projeto (matéria prima, fontes de energia, resíduos etc.);
- 3 - Síntese dos diagnósticos ambientais da área de influência do projeto;
- 4 - Descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação da atividade e dos métodos, técnicas e critérios usados para sua identificação;
- 5 - Caracterizar a futura qualidade ambiental da área, comparando as diferentes situações da implementação do projeto, bem como a possibilidade da não realização do mesmo;
- 6 - Descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras em relação aos impactos negativos e o grau de alteração esperado;
- 7 - Programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos;
- 8 - Conclusão e comentários gerais.

Deve-se lembrar que a SEMA (Secretaria do Meio Ambiente do Brasil) fornece o Roteiro Básico para a elaboração do EIA/RIMA e a partir do que poderá se desenvolver um Plano de Trabalho que deverá ser aprovado pela secretaria.

2.5.3 Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

O IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, é um órgão executivo da PNMA, sob a forma de uma autarquia federal, foi criado pela Lei 7735/89, de 22 de fevereiro de 1989.

“Lei 7.735/89 - Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e dá outras providências.” (IBAMA, 2007)

Ele está vinculado ao Ministério do Meio Ambiente - MMA sendo o responsável pela execução da Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA - e desenvolve diversas atividades para a preservação e conservação do patrimônio natural, exercendo o controle e a fiscalização sobre o uso dos recursos naturais (água, flora, fauna, solo, etc).

Ele é ainda responsável pelos estudos ambientais e pela liberação das licenças ambientais, de empreendimentos em nível nacional. O Licenciamento Ambiental é um procedimento pelo qual o órgão ambiental competente, federal (IBAMA), estadual ou municipal, permite a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, e que possam ser consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental. (IBAMA, 2007)

Com este instrumento busca-se garantir que as medidas preventivas e de controle adotadas nos empreendimentos sejam compatíveis com o desenvolvimento sustentável.

2.5.3.1 O IBAMA procura preservar a natureza

O IBAMA foi formado pela fusão de quatro entidades brasileiras que trabalhavam na área ambiental:

1. Secretaria do Meio Ambiente - SEMA
2. Superintendência da Borracha - SUDHEVEA
3. Superintendência da Pesca – SUDEPE
4. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF

Em 1990 foi criada e ligada à Presidência da República, que tinha no IBAMA seu órgão gerenciador da questão ambiental. Porém entre 3 a 14 de junho de 1992, realizou-se no Rio de Janeiro a Conferência da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, mais conhecida como Rio-92, da qual participaram 170 nações. Desde então, a questão ambiental

no Brasil tornou-se mais discutida, envolvendo a sociedade brasileira, e que já vinha se organizando nas últimas décadas, no sentido de pressionar as autoridades brasileiras pela proteção ao meio ambiente de forma mais concisa.

Desta forma, foi reformulada a sua estrutura burocrática e em 16 de outubro de 1992, foi criado o Ministério do Meio Ambiente - MMA, órgão de hierarquia superior, com o objetivo de estruturar a política do meio ambiente no Brasil na qual o IBAMA agora está subordinado.

2.5.4 Direito ambiental

Direito Ambiental é um conjunto de normas jurídicas relacionadas à proteção do meio ambiente. Pode ser conceituado como direito transversal ou horizontal, pois abrange todos os ramos do direito, estando intimamente relacionado com o direito constitucional, direito administrativo, direito civil, direito penal, direito processual e direito do trabalho.

O Direito Ambiental diz respeito à proteção jurídica do meio ambiente. Para facilitar a sua abordagem didática, Celso Fiorillo e José Afonso da Silva dividem o meio ambiente em:

natural, artificial, cultural e do trabalho. Esta divisão não é a única, pois muitos autores costumam não incluir o meio ambiente do trabalho dentro do objeto do direito ambiental. (CYSNE, 2000)

A legislação ambiental faz o controle de poluição, em suas diversas formas. A quantidade de normas dificulta a complexidade técnica, o conhecimento e a instrumentalização e aplicação do direito neste ramo do direito ambiental. O ideal é a extração de um sistema coerente, cuja finalidade é a proteção do meio ambiente. Para a aplicação das normas de direito ambiental, é importante compreender as noções básicas e adequá-las à interpretação dos direitos ambientais.

2.5.4.1 Direito ambiental no Brasil

Os antecedentes históricos da legislação ambiental brasileira remontam às Ordenações Filipinas que estabeleciam normas de controle da exploração vegetal no país, além de disciplinar o uso do solo, conspurcação de águas de rios e regulamentar a caça. Sobre

a evolução histórica da legislação o principal trabalho nesta matéria é o livro de Ann Helen Wainer. (BONAVIDES, 1997)

Na Lei nº 4.717/65 foram tratados de forma pioneira assuntos relacionados ao direito material fundamental. Todavia, a matéria do meio ambiente só foi introduzida em nosso ordenamento jurídico através da Lei 6.938/81, que estabeleceu a PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente. Em 1985 foi editada a Lei 7.347, que proporcionou a oportunidade de agir processualmente, através da Ação Civil Pública, toda vez que houvesse lesão ou ameaça ao meio ambiente, ao consumidor, aos bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico. No projeto da citada Lei, em seu artigo 1º, inciso IV, foi a primeira oportunidade onde se falou de defesa dos direitos difusos e coletivos do cidadão. Porém, este inciso foi vetado pelo Presidente da República.

A Constituição Federal de 1988, no entanto, trouxe ao nosso ordenamento jurídico a defesa dos bens coletivos, através da inclusão da redação constante no artigo 225. Admite, inclusive, a existência de uma terceira espécie de bem: o bem ambiental. Este bem é caracterizado por não ter uma propriedade definida, isto é, não é interesse único do particular, nem tampouco é considerado bem público: é um bem comum, de uso coletivo de todo um povo.

A ação civil pública, entretanto, foi introduzida novamente em nosso ordenamento jurídico quando da edição da Lei 8.078/90, que acrescentou o inciso IV, do artigo 1º, da Lei 7.347/85, anteriormente vetado. A Lei 8.078/90 também definiu os direitos metaindividuais, criando os institutos dos direitos difusos, coletivos, individuais e homogêneos.

2.5.5 Poluição

A poluição pode ser considerada a liberação de elementos, radiações, vibrações, ruídos e substâncias ou agentes contaminantes em um ambiente, prejudicando os ecossistemas biológicos ou os seres humanos.

O termo poluição também pode se referir às ondas eletromagnéticas ou radioatividade. Uma interpretação mais ampla do termo deu origem a idéias como poluição sonora, poluição visual e poluição luminosa. No caso da poluição sonora, esta é o efeito provocado pela difusão do som em grande quantidade, muito acima do tolerável pelos organismos vivos, através do meio ambiente. Dependendo de sua intensidade causa danos irreversíveis em seres vivos. A Aviação Civil é uma das maiores fontes de poluição sonora nas grandes cidades.

Tipos:

- Poluição atmosférica
- Poluição hídrica
- Poluição do solo
- Poluição sonora
- Poluição Térmica

2.5.5.1 Poluentes mais freqüentes e seus efeitos mais temidos

- Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono possui grande importância ambiental, visto que grande parte do monóxido de carbono existente no meio ambiente é oriundo das emissões dos veículos automotores. No mundo todo é lançado anualmente na atmosfera cerca de 200 milhões de toneladas de CO, sendo que cerca de 60% são produzidos por veículos automotores (MORGAN, 1970)

O efeito do monóxido de carbono sobre o homem também assume lugar de destaque, pois cerca de 50% das intoxicações fatais são devidas a este agente. (WALDBOL, 1973)

Após a absorção, que se faz por via pulmonar, a principal ação tóxica se faz por asfixia química ao combinar-se com a hemoglobina, originando a carboxihemoglobina, mais estável que a oxihemoglobina cerca de 300 vezes e incapaz de transportar oxigênio. Como é de se esperar, a concentração de carboxihemoglobina no sangue de um indivíduo exposto é proporcional à concentração de monóxido de carbono no ambiente e ao tempo de exposição. Assim, a dosagem de carboxihemoglobina varia de acordo com a hora do dia, com as condições ambientais e outros fatores como fumo, ventilação pulmonar, etc., sendo que a concentração de carboxihemoglobina aumenta no final da jornada diária, e é também maior nos fumantes. (PATY, 1958)

A maioria dos autores concorda que os efeitos da intoxicação por monóxido de carbono aparecem quando a carboxihemoglobina atinge de 10 a 20%, provocando a equivalente deficiência no transporte de oxigênio, havendo casos de aparecimento de grandes concentrações de carboxihemoglobina sem o efeito que era de se esperar, como no caso relatado por GOLDSMITH, 1970, em que bombeiros expostos a monóxido de carbono por 5

min. apresentaram níveis de até 44% de carboxihemoglobina sem grandes problemas para metade deles, conforme verificado através de eletroencefalograma.

A carência de oxigênio provoca lesões no sistema nervoso central e no coração, que são os órgãos mais necessitados e sensíveis a esta falta. Assim, pessoas com males crônicos do pulmão e coração, com anemia, ou sujeitos a ambientes onde a pressão de oxigênio é baixa, são mais susceptíveis à intoxicação por monóxido de carbono.

Uma taxa de carboxihemoglobina elevada pode prejudicar o desenvolvimento do feto, daí a necessidade de afastamento da gestante, das fontes de monóxido de carbono. Há também relação entre a concentração de monóxido de carbono na atmosfera e o aumento da mortalidade, conforme se verifica nos episódios agudos de poluição, ressaltando-se que nestas ocasiões o monóxido de carbono não é o único agente tóxico presente. (HADDON, 1961)

O monóxido de carbono tem a propriedade de acumular-se no tecido muscular o que pode explicar a permanência de sintomas após vários dias da exposição.

Há muito já se sabe que a ação tóxica do monóxido de carbono sobre o sistema nervoso central se faz pela privação de oxigênio, o que provoca desmielinização e degeneração celular em várias regiões deste; porém, esta ação não é única. SATO & HASEGAWA, 1970 descrevem alterações bioquímicas no que se refere à velocidade de formação da carboxihemoglobina e a relacionou com alterações metabólicas do lactato, creatinina fosfato, amônia, fosfato inorgânico, glutamina e adenosina fosfato; estudam ainda a relação entre exposição ao monóxido de carbono e a formação de tubocurarina, fosfolipídios e colesterol, mostrando que há relação entre a absorção de monóxido de carbono e o metabolismo destas substâncias.

Tem-se estudado muito a respeito da intoxicação aguda provocada pelo monóxido de carbono, por ser mais comum e por apresentar sinais e sintomas mais evidentes. Porém quanto à intoxicação crônica a baixas concentrações, ou em concentrações até o limite de tolerância, poucos estudos há, e é, justamente, a baixas concentrações que estão expostas a grande maioria da população urbana e industrial.

- **Bióxido de nitrogênio**

Há poucas informações sobre os efeitos que o bióxido de nitrogênio causa no homem; embora este seja um problema de grande magnitude, pois é oriundo dos veículos automotores, sendo que mais de 20 milhões de toneladas são lançadas anualmente na

atmosfera, somente nos Estados Unidos, 40% das quais produzidas por veículos automotores. (WALDBOLT, 1973)

Muito embora, o bióxido de nitrogênio possa produzir de 30 a 40% de metahemoglobina (hemoglobina com ferro oxidado), sendo que o normal vai de 0 a 8%, bloqueando o transporte de oxigênio, a maior ação deletéria localiza-se no aparelho respiratório. O bióxido de nitrogênio sendo pouco solúvel em água, passa pelas vias aéreas superiores indo solubilizar-se nos alvéolos, originando assim o ácido nitroso e ácido nítrico, ambos muito irritantes e corrosivos para o revestimento mucoso do pulmão.

O homem pode perceber o odor do bióxido de nitrogênio em concentrações de 1 a 3 ppm, sendo que 5 ppm por 10 min. produz um aumento temporário da resistência das vias aéreas; a 13 ppm aparecem irritações das mucosas e de 100 a 150 ppm por 30 a 60 min. torna-se fatal, provocando edema da laringe e asfixia. Quanto à intoxicação crônica há poucos dados disponíveis, visto que a lesão do tecido pulmonar desenvolve-se lentamente e dificilmente o bióxido de nitrogênio encontra-se isolado na atmosfera. (TSE, 1970)

Conforme a intensidade e a duração da exposição, o efeito sobre o aparelho respiratório varia desde uma pequena irritação, ardor, dor de garganta e do peito, até uma tosse violenta com respiração rápida e curta. Na União Soviética observou-se "doença pulmonar crônica" e alterações nos basófilos em 127 operários de uma fábrica de ácido sulfúrico expostos por 3 a 5 anos a mais de 2,6 ppm de bióxido de nitrogênio. (VIGDORSRIK, 1973)

Há que ressaltar, ainda, a interação do bióxido de nitrogênio com outros poluentes atmosféricos, como o bióxido de enxofre, que possuem um efeito aditivo sobre a lesão pulmonar. Os fumantes, também, apresentam maior susceptibilidade aos efeitos deletérios do bióxido de nitrogênio, visto que o cigarro, o cachimbo e o charuto produzem respectivamente cerca de 300, 950 e 1.200 ppm de bióxido de nitrogênio. (LA BELLE, 1965)

- **Bióxido de Enxofre**

Estima-se a produção mundial de bióxido de enxofre lançada ao meio ambiente em cerca de 100 milhões de toneladas anuais e cerca de 20% produzido por veículos automotores. (WALDBOLT, 1973)

No meio ambiente o bióxido de enxofre pode transformar-se em trióxido de enxofre e, posteriormente, em ácido sulfúrico que aparece como neblina. Da mesma forma, nas vias aéreas superiores também há o aparecimento de ácido sulfúrico e sulfatos formados

em virtude da grande solubilidade do bióxido de enxofre na água e cerca de 90% do inalado é absorvido pela mucosa das vias aéreas superiores.

O grau de irritação do bióxido de enxofre, do ácido sulfúrico e dos sulfatos depende, grandemente, da concentração e do tamanho das partículas (quando se apresentam como neblina). O tamanho que maior irritação causa é de 1 μm de diâmetro, porém com partículas maiores, mesmo não alcançando as vias aéreas profundas, há irritação brônquica e tosse violenta.

Foram detectados efeitos sobre o aparelho respiratório humano com 0,06 ppm de bióxido de enxofre. FRANK, afirma que a 20 ppm o dano produzido ao trato respiratório ainda pode ser reversível com a suspensão da exposição, e a concentrações maiores já há tendência à produção de edema e, eventualmente, de parada respiratória; afirma ainda que o dano causado ao pulmão parece ser mais dependente da concentração de bióxido de enxofre na atmosfera do que do tempo de exposição.

Há possibilidade ainda do bióxido de enxofre atuar como agente alergênico originando asma e bronquite crônica; porém, há risco de confusão com o quadro clínico observado na ação direta do agente sobre a mucosa pulmonar.

A interação do bióxido de enxofre com outros agentes é notada não somente no meio ambiente como também dentro do organismo, por exemplo: aerossóis de sais de ferro, manganês e vanádio em concentrações de 0,7 a 1 mg/m^3 formam pequenas gotas na umidade da mucosa, o que permite uma maior dissolução do bióxido de enxofre, atuando ainda como catalizadores da oxidação do bióxido de enxofre para ácido sulfúrico, aumentando assim a irritação. Uma mistura de ácido sulfúrico a 8 mg/m^3 com 9 ppm de bióxido de enxofre produz um dano muito maior que a soma dos dois agentes isolados; este mesmo efeito sinérgico aparece com neblinas de bióxido de enxofre e água oxigenada a 0,3 mg/m^3 e partículas de 4,7 μm desaparecendo com partículas de 11,8 μm . (WALDBOLT, 1973)

- Chumbo

Conquanto o saturnismo, como doença profissional, seja um dos males mais antigos que afeta o trabalhador, é nos tempos atuais que o efeito do chumbo se faz notar em todo o meio ambiente.

O chumbo encontra-se largamente distribuído no meio ambiente, sendo que um indivíduo normal de uma grande cidade ingere diariamente com a alimentação 310 μg de

chumbo, das quais 5 a 10% são absorvidas pelo organismo; com a água 20 µg, sendo 5 a 10% absorvidas pelo organismo e com o ar 20 µg sendo absorvidas pelo organismo 30 a 50%. Alguns autores crêem que seja maior a quantidade de chumbo introduzida no organismo por via respiratória em grandes cidades. Vemos assim que devido ao fato da via respiratória favorecer uma maior absorção, este assume grande importância, podendo até levar a intoxicação aguda com concentrações mais elevadas.

Numa intoxicação crônica o chumbo age, principalmente, sobre os glóbulos vermelhos, retardando sua maturação na medula óssea, provocando o aparecimento de hemácias com ponteados basófilos, e sobre a biossíntese da hemoglobina, bloqueando-a em dois pontos, provocando os conhecidos aumentos de excreção urinária de ALA (ácido delta-amino-levulínico) e CPU (coproporfirina urinária) (SIMONIN, 1956). Sendo que a ação tóxica principal se manifesta no sistema nervoso em decorrência de inibição enzimática, principalmente, devida à ligação do chumbo com radicais SH das proteínas.

Numa intoxicação aguda, que normalmente não é provocada por emanções de veículos automotores, a manifestação mais grave é o envolvimento do sistema nervoso, indo os sintomas desde simples sonolência até convulsões epiléticas.

O chumbo pode originar várias outras alterações no organismo, visto poder distribuir-se com facilidade, podendo ainda originar um sinal característico do saturnismo que é o punho caído, provocado por paralisia do nervo mediano que comanda os músculos extensores da mão; pode provocar cegueira por lesão do nervo ótico, além de aumentar a pressão do líquido céfalo-raquidiano com aumento da concentração de proteínas e leucócitos. (HUNTER, 1970)

Em mulheres o chumbo pode originar esterilidade e distúrbios no ciclo menstrual, sendo a gestante susceptível aos efeitos do chumbo, provocando aborto, natimortalidade e prematuros, havendo poucos dados de como concentrações iguais às encontradas no meio ambiente possam atuar sobre o feto.

- Hidrocarbonetos

Anualmente são lançadas à atmosfera 32 milhões de toneladas de hidrocarbonetos. Dentre os vários hidrocarbonetos lançados pelos veículos automotores, destacam-se pela sua ação sobre o homem o formaldeído e a acroleína que são originados na atmosfera por reação fotoquímica, produzidos diretamente na queima de combustível.

O formaldeído age tanto irritando as mucosas nasais e oculares ou como agente alergênico. A irritação da mucosa ocular inicia-se a concentrações de 0,01 a 0,1 ppm, sendo que na presença de aerossóis de partículas de diâmetro de 1,8 a 3,3 μm notou-se um efeito sinérgico (LA BELLE, 1965). Após exposição por 18 h a vapores de formaldeído a 3,5 ppm, os ratos ensaiados apresentaram a fosfatase alcalina aumentada e os cílios da árvore brônquica tornaram-se inativos. Em consequência à concentrações maiores surgem, a 10 a 20 ppm, dificuldades respiratórias e intensa irritação da traquéia podendo, com concentrações ainda maiores, originar broncopneumonia e edema pulmonar.

A acroleína produz sintomas semelhantes aos produzidos pelo formaldeído, porém esta é considerada muito mais tóxica, pois os sintomas aparecem em concentrações bem mais baixas que com o formaldeído; o edema pulmonar pode ocorrer imediatamente após a exposição a atmosfera com 21 ppm de acroleína. Conforme alguns pesquisadores a detecção pelo cheiro e por irritação da mucosa ocular inicia-se com 0,3 ppm para a acroleína e a 0,06 ppm para o formaldeído. (VOGH, 1969)

2.5.6 Poluição global

Os problemas de poluição global, como o efeito estufa, a diminuição da camada de ozônio, as chuvas ácidas, a perda da biodiversidade, os dejetos lançados em rios e mares, entre outros, nem sempre são observados, medidos ou mesmo sentidos pela população.

A explicação para toda essa dificuldade reside no fato de se tratar de uma poluição cumulativa, cujos efeitos só são sentidos a longo prazo. Apesar disso, esses problemas têm merecido atenção especial no mundo inteiro.

- Efeito estufa

A Terra recebe uma quantidade de radiação solar que, em sua maior parte (91%), é absorvida pela atmosfera terrestre, sendo o restante (9%) refletido para o espaço. A concentração de gás carbônico oriunda, principalmente, da queima de combustíveis fósseis, dificulta ou diminui o percentual de radiação que a Terra deve refletir para o espaço. O calor não sendo irradiado ao espaço provoca o aumento da temperatura média da superfície terrestre. (CARDOSO, 2006)

- Aquecimento global

Devido à poluição atmosférica e seus efeitos, muitos cientistas apontam que o aquecimento global do planeta a médio e longo prazo pode ter caráter irreversível e, por isso, desde já devem ser adotadas medidas para diminuir as emissões dos gases que provocam esse aquecimento. Outros cientistas, no entanto, admitem o aumento do teor do gás carbônico na atmosfera, mas lembram que grande parte desse gás tem origem na concentração de vapor de água, o que independe das atividades humanas. Essa controvérsia acaba adiando a tomada de decisão para a adoção de uma política que diminua os efeitos do aumento da temperatura média da Terra. O carbono presente na atmosfera garante uma das condições básicas para a existência de vida no planeta: a temperatura. A Terra é aquecida pelas radiações infravermelhas emitidas pelo Sol até uma temperatura de -27°C . Essas radiações chegam à superfície e são refletidas para o espaço. O carbono forma uma redoma protetora que aprisiona parte dessas radiações infravermelhas e as reflete novamente para a superfície. Isso produz um aumento de 43°C na temperatura média do planeta, mantendo-a em torno dos 16°C . (KIRSTEN, 2007)

Sem o carbono na atmosfera a superfície seria coberta de gelo. O excesso de carbono, no entanto, tenderia a aprisionar mais radiações infravermelhas, produzindo o chamado efeito estufa: a elevação da temperatura média a ponto de reduzir ou até acabar com as calotas de gelo que cobrem os pólos. Os cientistas ainda não estão de acordo se o efeito estufa já está ocorrendo, mas preocupam-se com o aumento do dióxido de carbono na atmosfera a um ritmo médio de 1% ao ano. A queima da cobertura vegetal nos países subdesenvolvidos é responsável por 25% desse aumento. A maior fonte, no entanto, é a queima de combustíveis fósseis, como o petróleo, principalmente nos países desenvolvidos. (BRASIL, 2008)

- Elevação da temperatura

A elevação da temperatura terrestre entre 2 e 5 graus Celsius, presume-se, provocará mudanças nas condições climáticas. Em função disto, o efeito estufa poderá acarretar aumento do nível do mar, inundações das áreas litorâneas e desertificação de algumas regiões, comprometendo as terras agricultáveis e, conseqüentemente, a produção de alimentos.

2.5.7 Países emissores de gases do efeito estufa

Tabela 06- Países emissores de gases do efeito estufa

País	%
Estados Unidos	45,8%
China	11,9 %
Indonésia	7,4%
Brasil	5,4 %
Rússia	4,8%
Índia	4,5%
Japão	3,1%
Alémanha	2,5 %
Malásia	2,1%
Canadá	1,8%

Fonte: MÉDICO, 2007

O Brasil ocupa o 16º lugar entre os países que mais emitem gás carbônico para gerar energia. Mas se forem considerados também os gases do efeito estufa liberados pelas queimadas e pela agropecuária, o país é o quarto maior poluidor (em % das emissões totais de gases do efeito estufa). (MÉDICO, 2007).

2.5.8 A poluição e a diminuição da camada de ozônio

A camada de ozônio é uma região existente na atmosfera que filtra a radiação ultravioleta provinda do Sol. Devido processo de filtragem, os organismos da superfície terrestre ficam protegidos das radiações.

A ozonosfera é formada pelo gás ozônio, que é constituído de moléculas de oxigênio que sofrem um rearranjo a partir da radiação ultravioleta que penetra na atmosfera.

A exposição à radiação ultravioleta afeta o sistema imunológico, causa cataratas e aumenta a incidência de câncer de pele nos seres humanos, além de atingir outras espécies.

A diminuição da camada de ozônio está ocorrendo devido ao aumento da concentração dos gases CFC (cloro-flúor-carbono) presentes no aerossol, em fluidos de refrigeração que poluem as camadas superiores da atmosfera atingindo a estratosfera.

O cloro liberado pela radiação ultravioleta forma o cloro atômico, que reage ao entrar em contato com o ozônio, transformando-se em monóxido de cloro. A reação reduz o ozônio atmosférico, aumentando a penetração das radiações ultra-violetas.

2.5.8.1 Consequências econômicas

As consequências econômicas e ecológicas da diminuição da camada de ozônio, além de causar o aumento da incidência do câncer de pele, podem gerar o desaparecimento de espécies animais e vegetais e causar mutações genéticas. Mesmo havendo incertezas sobre a magnitude desse fenômeno, em 1984 foi assinado um acordo internacional para diminuir as fontes geradoras do problema (Protocolo de Montreal).

2.5.9 Protocolo de Montreal

O Protocolo de Montreal sobre substâncias que empobrecem a camada de ozônio é um tratado internacional em que os países signatários se comprometem a substituir as substâncias que se demonstrou estarem reagindo com o ozônio (O₃) na parte superior da estratosfera (conhecida como ozonoesfera). O tratado esteve aberto para adesões a partir de 16 de setembro de 1987 e entrou em vigor em 1 de janeiro de 1989. Foi revisado em 1990, 1992, 1995, 1997 e 1999. Em comemoração, a ONU declarou a data de 16 de setembro como o Dia Internacional para a Preservação da Camada de Ozônio. (ONU, 2007)

No Protocolo de Montreal, 27 países signatários se comprometeram a reduzir ou eliminar o consumo de CFC até ao ano 2000, o que, até hoje, ainda não aconteceu na proporção desejada, apesar de já haver tecnologia disponível para substituir os gases presentes nos aerossóis, em fluidos de refrigeração e nos solventes. (RIBEIRO,2001)

2.6 DESENVOLVIMENTO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

2.6.1 Desenvolvimento e educação

Diante da constatação de que as emergências ambientais hoje presenciadas são consequências do modelo de desenvolvimento econômico vigente, percebe-se que esse modelo trouxe consigo um processo dual, por um lado, impactou positivamente contemplando o desenvolvimento em todas as suas modalidades e, por outro, causou impactos ecológicos e ambientais cujas proporções, difíceis de serem mensuradas, hoje são observadas em todas as partes do planeta.

• **Desenvolvimento econômico.** Tomou ênfase após a Segunda Guerra Mundial, a partir da constatação da forte presença mundial do subdesenvolvimento. Promove melhoria na qualidade de vida de países atrasados economicamente, especialmente através de incentivos ao controle da natalidade, vez que a explosão demográfica consome significativa parte do aumento do produto nacional, por conseguinte, impede melhorias no padrão de vida da população. Reclama por esforços para melhorar a sorte de comunidades em extrema pobreza.

O desenvolvimento econômico implica relação de dependência entre poupanças investidas, a produtividade desses investimentos e crescimento demográfico.

Kroemer afirma que para se combater o subdesenvolvimento é fundamental que haja transformação social, o que é alcançado através de mudanças e melhorias nas estruturas sociais existentes. (KROEMER, A. apud SILVA, 1986)

Nessa contextura é que se formam os processos sociais, os contextos, os cenários. À parte das demais modalidades, o desenvolvimento sustentável vem se inscrevendo com o condão de despertar o interesse da coletividade e, sobretudo, o sentimento de mobilidade individual como manifestação do exercício da cidadania.

• **Desenvolvimento social.** Transmite a idéia de harmonia, equilíbrio, que pode ser manifesta ou latente, objetiva ou analítica, estática ou dinâmica. Assim sendo, é atributo objetivo de uma classe de eventos sociais ou resultado de um arcabouço de referências.

O desenvolvimento social e o intercâmbio, no quadro da política, representam a tentativa de estreitar laços entre as sociedades. Leva implícita a idéia de promoção do indivíduo, de integração entre sociedades diferentes, com ocupação espacial também diferentes.

Nesse sentido, Viola, Leis, Scherer-Warren referem:

[...] a crise ecológica é a própria crise da ocupação humana do planeta, deve ser interpretada [...] como uma crise dos fundamentos de nossa vida política e social contemporânea. [...] Nesse contexto, a emergência do ambientalismo é interpretada como um apelo para uma fundação realista utópica da política mundial (VIOLA, LEIS, SCHERER-WARREN, 1995)

As políticas de proteção ao meio ambiente, à biodiversidade e o fortalecimento de organizações não-governamentais são evidências do desenvolvimento e do intercâmbio.

Noutro pólo está à limitação do Estado quanto ao cumprimento de requisitos básicos, de caráter estrutural quanto não estrutural, relacionado à responsabilidade social.

Ensejando-se, assim, a oportunidade de o setor privado promover mudanças nas relações sociais; empresas socialmente responsável são privilegiadas com subsídios na difícil tarefa de equalizar desenvolvimento econômico e social.

• **Desenvolvimento político.** Ganhou destaque durante a década de 60 em face do contexto vivenciado por alguns Estados, especialmente pelos que havia ou estavam se tornando politicamente independentes. (SILVA, 1989)

O desenvolvimento político proporciona perspectiva de mudança quando à flexibilidade do próprio sistema estar em sintonia com a auto-preservação. Assim, estruturas políticas desenvolvidas apresentam capacidade de gerar e absorver mudanças, o que resulta aumento na capacidade de inovação.

O estudo do desenvolvimento político não pode ser desvinculado do contexto sócio-econômico pelo fato de a igualdade e a capacidade das estruturas do Poder Público serem condicionadas por estruturas do sistema econômico. (SILVA, 1989)

• **Desenvolvimento regional.** As políticas de desenvolvimento regional envolvem atenção ao contexto, à vocação natural e aos fatores relacionados ao potencial de crescimento de uma região. Por regra, apresentam pontos fortes e pontos vulneráveis e o sucesso decorrente é sempre relativo. No entanto, auxiliam na multiplicação dos pólos de desenvolvimento, descentralizam a estrutura industrial e, se adequadamente elaboradas, podem deflagrar célere processo de crescimento.

A própria história nacional tem mostrado que o desenvolvimento regional requer mecanismos que motivem a participação dos cidadãos, a fim que se tenha reconhecido e validado o posicionamento da sociedade.

Esse entendimento encontra respaldo nas palavras de Barbieri ao asseverar ser imperiosa a participação da sociedade

[...] em todos os níveis dos processos de decisão, pois as decisões afetam sua vida atual e têm repercussões em seu futuro. Além de sua vida intelectual e capacidade de mobilizar apoio [as comunidades] trazem perspectivas peculiares que devem ser levadas em consideração. (BARBIERI, 1997)

Do que revela o desenvolvimento regional, denota-se que o enfrentamento às emergências locais aponta na direção da dialética, da participação, da revisão de atitudes e, sobretudo, desemboca no instituto da educação.

• **Desenvolvimento sustentável.** A idéia de sustentabilidade do desenvolvimento é uma meta para a sociedade contemporânea, que reclama por novo modelo econômico que melhore a qualidade de vida das comunidades, tendo em conta os limites da capacidade de suporte dos ecossistemas.

Em 1972, após receber o relatório da *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* sobre a situação mundial do crescimento populacional e dos recursos naturais, o Clube de Roma e alguns economistas afirmaram que para minimizar a crise ambiental seria necessário um crescimento zero. Essa solução obviamente é incompatível com a lógica do sistema capitalista, vez que resultaria em total paralisação do sistema produtivo.

Foi então que surgiu o conceito desenvolvimento sustentável, cuja lógica exposta está em sintonia com a preservação ambiental e minimização de impactos, o que corresponde a um máximo de produção em nível compatível com a proteção ao meio ambiente.

De acordo com Durkheim, não é necessário modificar o contexto de uma metodologia para que sejam produzidas novas idéias. (DURKHEIM, 1994). Desse modo, a sustentabilidade do desenvolvimento pode assumir novas dimensões em recortes de tempo variáveis.

Os princípios dessa modalidade de desenvolvimento comungam benefícios relacionados ao *locus* e à região. Por linhas gerais, podem ser assim enunciados:

– **Melhoria da qualidade de vida.** Atende à mera definição material de bem-estar. Implica análise setorial e regional, acresce fatores não monetários à vida humana. Seu conceito foi inauguralmente alcançado na conferência de Estocolmo, em 1972, cujo conteúdo traz-se à colação:

O homem tem o direito fundamental à liberdade, à igualdade e ao desfrute de condições de vida adequada em um meio de qualidade tal que lhe permita levar uma vida digna e gozar de bem-estar e ter a solene obrigação de proteger e melhorar o meio para as gerações presentes e futuras. (DURKHEIM, 1994)

O artigo 225 é outro ponto no qual a Constituição brasileira sinaliza alinhamento com a sustentabilidade do desenvolvimento:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial a sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e a coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL, 2006)

Tanto o meio ambiente, ecologicamente equilibrado, quanto a defesa e a preservação do meio a que se refere à Carta Magna também incluem idéias básicas do gerenciamento ambiental.

A Constituição da República Federativa do Brasil, mantendo sintonia com os direitos e garantias fundamentais do homem, e com os direitos e deveres individuais e coletivos, abriga, em seu art. 5º, o conceito de qualidade de vida lançado na Conferência de Estocolmo: “Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade [...]” (BRASIL, 2006)

Cumpre, aqui, destacar as palavras de Viola, Leis, Scherer-Warren et al:

Esta abertura à dimensão da equidade, da autonomia e da participação articula-se a uma diretriz de utilização mais racional do potencial de recursos naturais e humanos disponíveis em cada contexto sócio-ambiental, bem como de criação e adaptação de tecnologias e formas de reorganização social e política guiadas pelo respeito aos limites de sustentação dos ecossistemas. (VIOLA, LEIS, SCHERER-WARREN, 1995)

– **Racionalização dos recursos naturais.** Conduz as atividades produtivas considerando os limites e o uso racional dos ecossistemas. Isso força alguns segmentos sociais privilegiados rever hábitos de privilégios particulares que só fazem perpetuar a iniquidade ambiental.

– **Gerenciamento ambiental.** Controla e reduz impactos produzidos sobre o meio ambiente. Persegue a diretriz da minimização de riscos ambientais, danos à segurança e à saúde pública.

Estudos da Fundação Universitária Iberoamericana relacionando gerenciamento e meio ambiente, destacam que o gerenciamento ambiental “[...] possibilita-nos compreender a dimensão de sua degradação, mas também ajuda-nos a desenvolver soluções mais adequadas para sua utilização sustentável.” (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, 2005)

A gestão ambiental encampa metodologias capazes de minimizar impactos decorrentes dos atuais modelos de produção. Desse modo, tem a ver com a idéia de:

[...] **equilíbrio dinâmico** através dos constantes **intercâmbios** de matéria, energia e informação com seu retorno. O conceito de equilíbrio dinâmico incorpora a idéia de **mudança**: uma mudança **temporal** que incorpora o conceito de **evolução** e de mudança **espacial**, que tem a ver com a idéia de **estrutura**. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, 2005) (Grifo do autor).

Propõe-se, desse modo, a reverter o processo de desestruturação dos ecossistemas, viabilizar a sustentabilidade do desenvolvimento e promover o manejo prudente e racional dos bens naturais.

Noutro pólo, a legislação representa o meio capaz de regular atividades, equalizando a relação do homem com o seu *habitat*.

– **Minimização de impactos ambientais provocados por resíduos urbanos.**

Estimula o processo de interdependência e crescimento autocatalítico. Permite criar novos postos de trabalho. A reparação do ambiente é realizada por empresas operadoras.

Em território nacional o problema tem se mostrado severo, especialmente por conta do processo de urbanização e ocupação do solo.

Pesquisas da Fundação Universitária Ibero-americana alertam:

Dados de 1996 indicam que 79% dos brasileiros vivem nas cidades. São taxas elevadas e crescentes de urbanização observadas nas duas últimas décadas e que provocam o agravamento dos problemas urbanos no país.

Esse quadro é resultado da inter-relação de diversos fatores e entre eles podemos citar:

- crescimento desordenado e concentrado;
- ausência ou deficiência no planejamento municipal;
- obsolescência da estrutura física existente;
- demanda não atendida por recursos e serviços de toda ordem;
- agressões ao ambiente urbano. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, 2005)

Como resultado disso, a citada Fundação chama a atenção à pesquisa realizada pelo IBGE referente à questão dos resíduos sólidos urbanos (RSU), que mostra o caráter emergencial das áreas urbanas brasileira.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em 1991, já registrava uma produção de 241 mil toneladas diárias de lixo, sendo 130 mil toneladas de resíduos domiciliares e as restantes 111 mil toneladas, de resíduos industriais, de saúde [RSS], comerciais e públicos. O mesmo estudo demonstra que, desse total, apenas 24% recebia tratamento adequado. (FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA, 2005)

Esse princípio do desenvolvimento sustentável está atrelado à dinâmica histórica de conformação do projeto de futuro desejado. Trabalha, portanto, os vetores de intervenção, cuja tendência da dinâmica em vigor permite contribuir na projeção e construção desse mesmo futuro.

As teorias econômicas não desconsideraram a finitude dos recursos naturais não renováveis e problemas relacionados à poluição ambiental. Os custos resultantes, capazes de impactar o meio ambiente, não eram levados em conta, tampouco as externalidades.

O desenvolvimento das sociedades modernas agrega devastação para o meio ambiente e os avanços científicos e tecnológicos não têm dado conta de reverter ou deter o processo de agressão ambiental. Isso é potencializado com o *modus* pelo qual o Poder Público e as comunidades têm gerido os espaços locais, que só faz agravar a situação.

Cumprido, desse modo, à sociedade a tomada de consciência e compreensão sobre as limitações e a finitude da natureza, a fim de que se possam assegurar às gerações presentes e futuras continuidade às espécies que integram o meio ambiente.

Dentre os fatores determinantes, talvez, os dois mais relevantes para o processo de desenvolvimento sejam a educação e a sustentabilidade. O primeiro se respalda no preparo da população civil em geral. O segundo no fato de ser o elo entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental.

A nova ordem que está se impondo traz consigo uma visão determinística de sustentabilidade que passa, necessariamente, pelo gerenciamento ambiental e ecológico, bem como por práticas de controle social.

2.6.2 Educação ambiental

A educação à cidadania é preceito fundamental de todas as atividades e em todos os níveis. Assim sendo, torna-se, também, preceito fundamental para as modalidades de desenvolvimento anteriormente citadas. Desse modo, o enquadramento nos atuais padrões de sustentabilidade do desenvolvimento apresenta a educação ambiental (EA) como *mister*.

Nesse sentido, a previsão constitucional de que cuida a Lei 9.795/99, determina promoção à EA, objetivando mobilizar a participação da sociedade na discussão de problemas ambientais, põe o Brasil em sintonia com a diretriz mundial, cujo arcabouço jurídico o faz um dos países com legislação ambiental avançada.

Meio ambiente ecologicamente equilibrado é direito fundamental do homem. Portanto, sendo violado será, por conseguinte, violado o princípio da dignidade humana que, antes de todos os outros direitos, estará sendo ferido em sua essência, vez que nuclear, imanta para si os demais direitos humanos.

De acordo com os ensinamentos doutrinários até aqui abstraídos, a EA emerge com o condão de resgatar a valorização da dimensão humana e da própria vida. Conduz desse modo, ao exercício de mudança de atitudes ao mesmo tempo em que permite tratar conteúdos sócio-ambientais, estimula o conhecimento, a informação e, sobretudo, a formação de cidadãos conscientes frente aos papéis que desempenham junto à sociedade.

Uma questão de que se ocupam os que pensam EA não reside tão-somente em mobilizar cidadãos conscientes, está, sobretudo, na capacidade de tomada de consciência e conhecimento sobre a problemática global que os demais indivíduos apresentam. Fator difícil de ser equalizado está na desproporção que há entre o quantitativo desses e dos cidadãos potencialmente conscientizáveis.

Nesse sentido, Layrargues argumenta não ser a natureza que está em desarmonia, mas sim a sociedade. E isso faz levar em conta a necessidade de se priorizarem junto às práticas pedagógicas conteúdos sócio-ambientais educativos. (LAYRARGUES, 1999)

2.6.2.1 Histórico

As definições e os conceitos de EA originaram-se em discussões fora do país, apresentadas em conferências, eventos técnicos, políticos internacionais e nacionais, objetivando que a EA não seja observada apenas localmente, deve ser compartilhada por diferentes povos e nações, reconhecendo a necessidade de desenvolvimento como elemento essencial ao combate à crise ambiental. Assim, alguns dos marcos que fizeram evoluir a EA foram resultados de acordos internacionais sobre questões relacionadas à agressão ambiental.

Minini-Medina esclarece:

Devido a uma série de acidentes ocorridos na década de 50, como a poluição industrial que matou milhares de pessoas em 1952 em Londres, os efeitos da poluição por mercúrio nas cidades japonesas de Minamata e Niigata, entre outros, foram surgindo uma série de debates sobre a qualidade ambiental que resultaram em importantes publicações sobre algumas descobertas na área do conhecimento científico, que ajudaram a perceber a emergente globalidade dos problemas ambientais. (MEDINA, 1994)

Na área jurídica, a Inglaterra inovou, em 1956, com a aprovação da Lei do Ar Puro – Fundamentos da Ecologia.

No campo literário, algumas obras pioneiras contribuíram para o surgimento da EA, dentre as quais está o livro *Primavera Silenciosa*, de Rachel Carson, em 1962, que descreve a atuação predadora dos setores produtivos e tragédias ambientais ocorridas, fomentando a inquietação internacional sobre a perda da qualidade de vida no planeta. (REIGOTA, 1996)

A Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, “[...] um dos eventos de maior repercussão em toda a história após a Segunda Guerra Mundial, propulsor de incontáveis desdobramentos e práticas para a organização da convivência humana no planeta,”(MILARÉ, 2001) é o marco fundante da EA. Em suas conclusões referênciava que o cidadão deve ser educado à solução de problemas ambientais, e a EA deve ser considerada como campo pedagógico, adquirindo relevância e vigência internacional.

O Encontro em Belgrado, na Iugoslávia, em 1975, no qual o tema principal foi “[...] a premente necessidade de uma nova ética global que proporcionasse a erradicação da pobreza, fome, analfabetismo, poluição e da dominação e exploração humana.”(DIAS, 1994)

Ao final da Conferência, foi elaborada a Carta de Belgrado, constituindo um dos documentos mais lúcidos e importantes gerados naquela década. Previu-se que nenhuma nação deveria se desenvolver à custa de outra nação. A reforma dos processos e sistemas educacionais foi apontada como questão central para a constatação ética no desenvolvimento.

Em agosto de 1981, no Brasil, ocorreu a preocupação com os processos educativos no trato das questões ambientais. Assim, aprovou-se a Lei nº 6.938, referente à Política Nacional de Meio Ambiente, trazendo-se pela primeira vez, no texto legal pátrio, a EA de forma integrada à preservação do meio ambiente.

Nesse sentido, em 1987, o Ministério da Educação e Cultura (MEC) manifestou-se sobre a implantação da EA no Brasil. Aprovou a conclusão da Câmara de Ensino a respeito do parecer 226/87, que considerou necessária a inclusão da EA junto a conteúdos explorados

nas propostas curriculares das escolas de ensino fundamental e médio, bem como sugeriu a criação de Centros de EA. (BRASIL, 1997)

A Constituição da República Federativa do Brasil, promulgada em 1988, focou no inciso VI do artigo 225, a importante tarefa do Poder Público, e propôs o envolvimento da coletividade em discussões e decisões pertinentes à realidade local, objetivando viabilizar a construção, implantação e desenvolvimento de projetos baseados na proposta de EA. (BRASIL, 2004)

A Rio-92, mais conhecida como a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, reafirmou os princípios referidos na Conferência de Tbilisi, ligando o meio ambiente ao homem, centrado no desenvolvimento sustentável. (SILVA, 1989)

A Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, discutiu temas ambientais fundamentais em nível global. Assim, aos 20 anos da Conferência de Estocolmo, a Rio-92 trouxe alguns dos princípios mais importantes referidos em Estocolmo, resultando na formulação de ações previstas na Agenda 21.

Nesse ambiente repleto de mudanças a respeito da preocupação ambiental, em 1988, o MEC promoveu em Jacarepaguá um *workshop* com o objetivo de socializar os resultados das experiências nacionais e internacionais de EA, bem como discutir metodologias e currículos. Do encontro resultou a Carta Brasileira para a EA. (BRASIL, 2001)

Em 1997, o Brasil tomado pela constante preocupação ambiental apresentou a Declaração de Brasília para a EA, aprovada no mesmo ano durante a I Conferência Nacional de Educação Ambiental, adotando os princípios e recomendações da Carta de Belgrado, de Tbilisi e da Agenda 21. A EA passou a ser considerada instrumento para promoção do desenvolvimento sustentável.

Percebe-se que através das trajetórias das conferências realizadas em torno do meio ambiente, fez-se com que ocorressem avanços consideráveis na sociedade mundial em relação à valorização e à importância da EA.

As manifestações de preocupação com o meio ambiente ecologicamente equilibrado, resultaram no Brasil, em 1999, na criação da Lei nº 9.795, que dispõe sobre a Política Nacional de Educação Ambiental.

2.6.3 Conceituação

A conceituação de EA é caracterizada por referências pertinentes à formação integral do indivíduo enquanto cidadão autônomo, crítico e participante do processo social do qual é ator protagonista.

Nessa incursão, educar significa transmitir, de geração em geração, os valores culturais da comunidade social em que o homem está inscrito e da qual recebeu um conjunto de técnicas normativas que lhe permitem satisfazer necessidades biológicas, físicas, culturais e integrar-se à sociedade. (NIELSEN, 1988)

No entendimento de Pinto: “[...] ver a educação como o processo de construção e reprodução de valores e saberes; especialmente como o meio de edificação de modos de vida coletivos com base em valores de solidariedade.” (PINTO, 1987)

A educação, nesse amplo contexto da criação humana e da formação do indivíduo, é caminho de organização de valores e processo de construção de conhecimentos.

A educação é um processo individual e ao mesmo tempo coletivo que está a serviço da continuidade, da atualização e da renovação de cultural.

O processo educativo, enquanto dinâmica social deve propiciar a elaboração e o domínio, por parte dos indivíduos e dos grupos, de novos modelos de indagação da realidade, de modelos valorativo e normativo para a ação e de formas de comunicação e expressão que afiancem a vinculação e coesão do grupo ou comunidade. Em essência, o processo educativo consiste na permanente transformação dos comportamentos para uma compreensão cada vez mais integral e uma ação cada vez mais solidária sobre o mundo. (PINTO, 1987)

No campo educacional, abrir espaço à mudanças para o novo significa mais que incorporar ao processo educativo tecnologias de última geração, é pensar formas de flexibilizar o sistema de ensino para integrá-lo à comunidade. Significa também viabilizar processos que auxiliem a construir o caminho que os cidadãos vão trilhar, quer seja com currículos adequados às atuais exigências de mercado, quer seja com a introdução de novos conteúdos e metodologias.

Os conceitos de EA atrelam transformação e criação de valores para a sensibilização de atores sociais, quanto à agressão e preservação ambientais, também se respaldam na percepção, na motivação e contribuição para a intervenção em problemas sócio-ambientais.

Na Conferência de Tbilisi a EA foi definida como uma dimensão dada ao “[...] conteúdo e a prática da educação, orientada para a resolução dos problemas concretos do meio

ambiente através de enfoques interdisciplinares e de uma participação ativa e responsável de cada indivíduo e da coletividade.”(DIAS, 1994)

Na mesma trilha, a ONU conceitua EA como:

Um processo que visa desenvolver uma população que seja consciente e preocupada com o meio ambiente e com os problemas que lhe são associados, e que tenha conhecimentos, habilidades, atitudes, motivações e compromissos para trabalhar individual e coletivamente na busca de soluções para os problemas existentes e para a prevenção de novos. (BRASIL,2001)

Da mesma forma, a Lei n. 9.795/99, tratando sobre a Política Nacional de Educação Ambiental, no artigo 1º define o que vem a ser EA:

Entende-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade. (BRASIL, 2006)

Essa definição alcança informações técnico-científicas sobre o meio ambiente e envolve o ideário para a formação de consciência crítica capacitada para a defesa do mesmo. Destaca o meio ambiente como bem de uso comum do povo e base às condições saudáveis para a reprodução da vida.

O Ministério do Meio Ambiente define a EA como:

Processo que consiste em propiciar às pessoas uma compreensão crítica e global do meio ambiente, para elucidar valores e desenvolver atitudes que lhes permitam adotar uma posição crítica e participativa a respeito das questões relacionadas com a conservação e a adequada utilização dos recursos naturais, para a melhoria da qualidade de vida e a eliminação da pobreza extrema e do consumismo desenfreado, visando a construção de relações sociais, econômicas e culturais capazes de respeitar e incorporar as diferenças e a liberdade para decidir caminhos alternativos de desenvolvimento. (BRASIL, 2006)

Depreende-se, assim, que a EA é um processo dinâmico e participativo para a formação permanente do indivíduo e da coletividade; nesse processo os atores sociais são agentes transformadores, atuantes na diagnosticagem de problemas e busca de alternativas e implementação de soluções.

2.6.4 Princípios

Das recomendações da Conferência de Tbilisi surgiram os norteadores para o estabelecimento dos princípios e objetivos da EA, os quais “[...] devem ser considerados como alicerces [...] em todos os níveis, dentro e fora do sistema escolar.” (DIAS, 1994)

Os princípios da EA estão voltados para o desenvolvimento de postura e atitudes e fundadas em valores éticos, democráticos, que permitam a participação crítica dos cidadãos em decisões afetas ao *locus* e ao global que possam impactar a sociedade positivamente, na transformação das relações sócio-ambientais.

De acordo com Dias, os princípios são:

- Considerar o ambiente em sua totalidade, ou seja, em seus aspectos naturais e artificiais, tecnológicos e sociais (econômico, político, técnico, histórico-cultural e estético);
- Construir-se num processo contínuo e permanente, iniciando na escola infantil e continuando através de todas as fases do ensino formal e não formal;
- Empregar o enfoque inter, multi e transdisciplinaridade, aproveitando o conteúdo específico de cada disciplina, para que se adquira uma perspectiva global e equilibrada;
- Examinar as principais questões ambientais em escala pessoal, local, nacional, regional, internacional, de modo que os educandos tomem conhecimento das condições ambientais de outras regiões geográficas;
- Concentrar-se nas situações ambientais atuais e futuras, tendo em conta também a perspectiva histórica;
- Insistir no valor e na necessidade de cooperação local, nacional e internacional, para prevenir e resolver os problemas ambientais;
- Fazer com que os alunos participem na organização de suas experiências de aprendizagem, proporcionando-lhes oportunidade de tomar decisões e de acatar suas conseqüências;
- Estabelecer uma relação para os alunos de todas as idades, entre a sensibilização pelo ambiente, a aquisição de conhecimentos, a capacidade de resolver problemas e o esclarecimento dos valores, insistindo especialmente em sensibilizar os mais jovens sobre os problemas ambientais existentes em sua própria comunidade;
- Salientar a complexidade dos problemas ambientais e, conseqüentemente a necessidade de desenvolver o sentido crítico e as aptidões necessárias para resolvê-los;
- Utilizar diferentes ambientes educativos e uma ampla gama de métodos para comunicar e adquirir conhecimentos sobre o meio ambiente, privilegiando as atividades práticas e as experiências pessoais. (DIAS, 1994)

O que se percebe, em síntese, dos princípios apontados por Dias é que o conteúdo ambiental natureza-sociedade-cultura deve ser considerado em sua totalidade, vez que são sistemas que interagem entre si, exercem influências mutuamente uns sobre os outros. Reside aí o caráter sistêmico da EA, essa propriedade também se mostra presente no próprio sistema de ensino ambiental, haja vista o *mister* de esse processo ser contínuo em todos os níveis, do pré-fundamental ao pós-doutorado.

Outro aspecto imprescindível se refere à globalidade dos conteúdos programáticos. A característica inter, multi e transdisciplinares da EA possui o condão de conjugar a dimensão relacional das questões sócio-ambientais sem não perder a perspectiva histórica.

A legislação educacional brasileira *pari passo* com a tendência global, passou a contar em 1999 com a Lei n. 9.795 que, em seu artigo 4º, estabeleceu os princípios básicos da EA, quais sejam:

- I – o enfoque humanista, holístico, democrático e participativo;
- II – a concepção do meio ambiente em sua totalidade, considerando a interdependência entre o meio natural, o sócio-econômico e o cultural, sob o enfoque da sustentabilidade;
- III – o pluralismo de idéias e concepções pedagógicas, na perspectiva da inter, multi e transdisciplinaridade;
- IV – a vinculação entre a ética, a educação, o trabalho e as práticas sociais;
- V – a garantia de continuidade e permanência do processo educativo;
- VI – a permanente avaliação crítica do processo educativo;
- VII – a abordagem articulada das questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais;
- VIII – o reconhecimento e o respeito à pluralidade e à diversidade individual e cultural. (BRASIL, 2006)

Os princípios acima citados conservam enquadramento com as definições e demais princípios técnicos e científicos que informam o desenvolvimento social. Fortalecem a Política Nacional de Meio Ambiente e a aplicação de seus instrumentos, como a avaliação de impacto ambiental e o zoneamento ecológico. Como ainda, observam ética e respeito à diversidade e à pluralidade. Desse modo, lançam bases à EA cidadã e sustentável.

2.6.5 Objetivos

A literatura corrente recomenda que os objetivos da EA sejam definidos com base no processo sócio-econômico-ambiental de cada sociedade, tendo em conta a necessidade de desenvolvimento local alinhada com o desenvolvimento global.

Contudo, alguns desses objetivos são comuns à comunidade internacional, como é o caso dos que advêm da Carta de Belgrado, os quais servem de norteador e pilastra central para o estabelecimento dos objetivos particulares a cada sociedade, e estão assim definidos:

- 1 Conscientização: Levar os indivíduos e os grupos associados a tomarem consciência do meio ambiente global, dos problemas conexos e de se mostrarem sensíveis aos mesmos, fortalecendo o exercício da cidadania.

- 2 Conhecimento: Levar os indivíduos e os grupos a adquirir uma compreensão essencial do meio global, dos problemas que estão a ele interligados e o papel e lugar da responsabilidade crítica do ser humano.
- 3 Comportamento: Levar os indivíduos e os grupos a adquirir o sentido dos valores sociais, sentimento profundo de interesse pelo meio ambiente e vontade de contribuir para sua proteção e qualidade.
- 4 Competência: Levar os indivíduos e os grupos a adquirir o necessário à solução dos problemas. Nem todos têm capacidade técnica para resolver os problemas ambientais. Reconhecer essa deficiência é um primeiro passo para superá-la. A Educação Ambiental pode auxiliar a sua superação, buscando elaborar meios técnicos com ajuda de especialistas e conhecedores autodidatas do problema.
- 5 Capacidade de avaliação: Levar os indivíduos e os grupos a avaliar medidas e programas relacionados ao meio ambiente em função de fatores de ordem ecológica, política, econômica, social, estética e educativa.
- 6 Participação: Levar os indivíduos e grupos a perceber suas responsabilidades e necessidades de ação imediata para solução dos problemas ambientais. (REIGOTA, 1996)

Tais objetivos levam ao entendimento de que cumpre à EA transmitir, além do conhecimento científico, todo o tipo de conhecimento necessário ao enfrentamento de problemas ambientais.

A legislação brasileira, através da Lei n. 9.975/99, em concordância com as Conferências anteriormente elencadas no quadro sinóptico 1, define os seguintes objetivos da EA em seu artigo 5º:

- I – o desenvolvimento de uma compreensão integrada do meio ambiente em suas múltiplas e complexas relações, envolvendo aspectos ecológicos, psicológicos, legais, políticos, sociais, econômicos, científicos, culturais e éticos;
- II – a garantia de democratização das informações ambientais;
- III – o estímulo e o fortalecimento de uma consciência crítica sobre a problemática ambiental e social;
- IV – o incentivo à participação individual e coletiva, permanente e responsável, na preservação do equilíbrio do meio ambiente, entendendo-se a defesa da qualidade ambiental como um valor inseparável do exercício da cidadania;
- V – o estímulo à cooperação entre as diversas regiões do País, em níveis micro e macrorregionais, com vistas à construção de uma sociedade ambientalmente equilibrada, fundada nos princípios da liberdade, igualdade, solidariedade, democracia, justiça social, responsabilidade e sustentabilidade;
- VI – o fomento e o fortalecimento da integração com a ciência e a tecnologia;
- VII – o fortalecimento da cidadania, autodeterminação dos povos e solidariedade como fundamentos para o futuro da humanidade. (BRASIL, 2006)

Tendo por base o inviolável preceito constitucional do acesso à informação (artigo 5º, inciso XIV), (BRASIL, 2004) entende-se de que todas as pessoas devem ter oportunidade para conhecer e ter condições de participar pró-ativamente nas relações sócio-ambientais.

Nesse ponto, é que se mostra evidente a utilidade da educação formal e não-formal reconhecida no artigo 2º da Lei n. 9.795/99: “[...] a educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma

articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal.” (BRASIL, 20063)

Desse modo, a referida Lei fixou, de forma permanente, obrigatoriedade à EA em políticas, planos, programas e projetos da educação nacional em todos os níveis do ensino institucional ou extra-institucional. Assim, o diploma legal em tela dicotomizou a EA em duas categorias, as quais, segundo o MEC, são:

Educação Formal: é aquela ministrada em instituições especialmente criadas e organizadas com o objetivo de educar, a saber, as escolas.

Educação Informal: é aquela que se realiza através de outras instituições, cuja finalidade precípua e principal talvez não seja a de educar, a saber, o lar, a igreja, a empresa, centros comunitários, entre outros. (BRASIL. 1997)

Essa dicotomia pressupõe, segundo Mello, que seja direcionada a EA formalmente às novas gerações, vez que “[...] deve ser abrangente e sistemática.” (MELLO, 1996) Mas quando “[...] informal deve utilizar todos os meios e processos informativos para atingir o maior número possível de pessoas, desde os que tomam decisões até o pequeno agricultor que precisa conhecer boas técnicas de plantio”. (MELLO, 1996)

A educação não-formal, voltada à ações comunitárias, deve mobilizar organizações coletivas para o enfrentamento dos problemas sócio-ambientais. Essas entidades civis possibilitam soluções adequadas para cada problema constatado. À não-formal releva o uso dos meios de comunicação, vez que atingem diversas camadas sociais e são excelentes agentes formadores de opinião. (SCHWARTZ, 1985)

Importante, no contexto da formalidade, repensar o papel do professor:

[...] enquanto transmissor de conhecimentos definidos e abstratos, para uma nova ação reflexiva e criativa, de um saber mais dinâmico e interativo, por isso, a escola é o instrumento a serviço da coletividade, cumprindo e fazendo cumprir o exercício da cidadania.

2.6.6 O caráter sistêmico da EA

A EA fundada no referencial de sistemas atende às necessidades de conexão do projeto, com outros de nível mais elevado.

Justifica Azevedo alegando:

A metodologia [...] é de fácil assimilação, embasada em uma racionalidade sistêmica que preconiza avaliações e intervenções contínuas em seus subsistemas. [...] também

analisa o problema da implementação, dentro de uma visão que incorpora as modernas concepções da teoria administrativa. (AZEVEDO, 1995)

A integração da tecnologia da informação à EA é exemplo do que trata Azevedo, pois, o caráter sistêmico da EA sistêmica, as estratégias desenvolvidas e a tecnologia da informação devem estar alinhados e, sinergeticamente, integrados entre si.

A tecnologia da informação desempenha papel estratégico e, simultaneamente, agrega valores aos resultados do processo ensino-aprendizagem e pode alavancar vantagens às relações sócio-ambientais devido ao fato de as informações veicularem praticamente em tempo real e atingirem um contingente significativo de atores sociais.

A principal finalidade da EA sistêmica é servir de guia para o alcance de resultados durante o processo educacional e posteriores a ele. Está, definitivamente, comprometida com o desenvolvimento local e global, bem como com o processo de tomada de decisões, visa, desse modo, conduzir a comunidade a uma situação futura desejada.

Destarte, a contribuição da teoria geral dos sistemas, desenvolvida por Bertalanffy, em 1930, (BERTALANFFY, 1975) para a EA se situa no campo da formulação e derivação de princípios gerais aplicáveis aos sistemas. E isso se dá pela derivação de princípios unificadores, o que faz aproximar o planejador da meta, que é unidade da ciência.

A teoria geral dos sistemas tem sido difundida em face da abrangência de sua aplicação, a forma simples com que se apresenta, as possibilidades e resultados que possibilita, integra ao modelo de saída encontrado vários campos do conhecimento humano.

O “[...] seu conteúdo é a formulação e derivação de princípios válidos para os sistemas em geral.” Assim, considera o universo como um macro-sistema, constituído de componentes que, em múltiplos níveis de agregação, são sistemas também. (BERTALANFFY, 1975)

Nessa concepção, o estado desejado é um sistema desejado e o estado real é o sistema existente. Desse modo, o produto da EA pilastrado no referencial de sistemas é a engenharia de um sistema, entendendo-se o termo engenharia no amplo sentido da criação humana, que constrói e modifica realidades.

De outro lado, entende-se que a visão de realidade depende de um referencial teórico, de um modelo de mundo. Nesse sentido, a teoria geral dos sistemas permite visão espacial do conjunto ou contexto, assim como, permite também visão individualizada das partes que interagem entre si, do conjunto de unidades entre as quais existe relação, interatuação e interdependência, como, ainda, os métodos requeridos para alcançar um objetivo específico.

Um sistema aberto que ao contrário dos sistemas fechados, interage com o meio. Pode, portanto, ser representada através de seus elementos básicos, da seguinte forma:

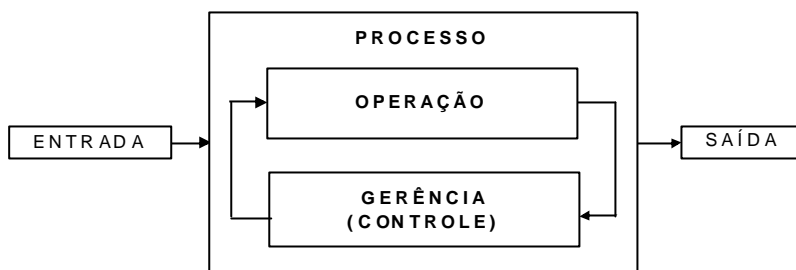


Figura 09 – Sistema aberto.

A EA desenvolve um processo, a partir da entrada (insumos) com vistas à geração da saída (produtos). Essa entrada é constituída de recursos, aplicados nesse processo em determinado recorte de tempo.

Segundo Bertalanffy “[...] o sistema aberto define-se como um sistema em troca de matéria com seu ambiente, apresentando importações e exportações, construção e demolição dos materiais que o compõem.” (BERTALANFFY, 1975)

Os elementos básicos que caracterizam um sistema aberto são: (a) interação com o ambiente; (b) capacidade de crescimento, mudança, adaptação (estado atual diferente do inicial e do final); (c) compete com outros sistemas.

O enfoque sistêmico possibilita uma estrutura teórica de orientação composta de métodos analíticos que têm como sistema: **(a)** um conjunto de partes que interagem de modo a atingir um determinado fim; **(b)** qualquer entidade, social ou física, composta de partes inter-relacionadas, interatuantes e interdependentes; **(c)** uma coleção organizada de homens, máquinas e os métodos requeridos para alcançar um objetivo específico.

Esquemmatizando, pode-se, por linhas gerais, resumir um sistema aberto conforme diagrama abaixo.



Figura 10 – Resumo do sistema aberto.

Após a entrada de insumos (material de operação) no sistema é feito o processamento (transformação de insumo em algo esperado – desenvolvimento). E, finalmente, o insumo transformado é devolvido para o ambiente. Assim, a arquitetura de

funcionamento definida pelo usuário desenha as condições em que o sistema vai funcionar. Em geral são limitações impostas ao sistema que podem ser entendidas como restrições ou facilidades.

O controle, ao atuar sobre a entrada e o processo, regula a entrada e a saída de insumos e determina o estado dirigido do sistema.

O *feedback* (realimentação) – função que compara a saída com um critério – objetivo, é o estado monitorado de um sistema. Nesse ponto, a cibernética figura na qualidade de estudo da comunicação e controle em máquinas e seres vivos.

Basicamente, o planejamento em EA sistêmica encampa cinco passos fundamentais, quais sejam:

(1) Análise de sistemas. Compreendem descrição e diagnóstico sobre estrutura, processo, entrada, saída, ambiente e realimentação (*feedback*). Determina as discrepâncias entre o estado real e o desejado.

Na descrição das principais dimensões de algum ambiente, o processo de análise pertence a uma fase do planejamento, usualmente, denominada diagnóstico.

Em sentido amplo, o termo diagnóstico pode significar avaliação e em *stricto sensu*, é respeitante ao “[...] conjunto de dados em que se baseia essa determinação,” sendo essa “descrição, minuciosa e detalhada”, também é conhecida por diagnose.

Em outras palavras, Chiavenato argumenta que o diagnóstico diz respeito à verificação (no sentido de estabelecimento) de estratégias alternativas e aos respectivos planos implementação das mesmas. (CHIAVENATO, 1999)

Com relação ao sentido amplo, acarreta análise sobre a metodologia vigente, compreendendo a coleta de informações sobre os métodos empregados, através dos quais o sistema pode ser representado e caracterizado. Assim, torna-se prático identificar os problemas que o sistema analisado vem apresentando, sendo que isso pode ser feito respondendo-se aos questionamentos: Como a metodologia atual atinge seus resultados? Com que eficiência esses resultados são atingidos? Até que ponto essa metodologia atinge seus objetivos?

Com base nos elementos acima é possível identificar o estado desejado e o estado real e, por analogia, estabelecer paralelo entre ambos, sendo a discrepância encontrada o resultado da análise – o diagnóstico.

A análise da metodologia vigente subsidia para que se alcance, com clareza, o conhecimento necessário a respeito da mesma e seus problemas, sendo que isso leva à

compreensão de metas e objetivos do próprio método, segundo o contexto do ambiente no qual ele está inscrito.

No que importa ao sentido restrito, na fase de diagnóstico, o conjunto de dados é obtido a partir de análise do sistema, podendo a mesma se desdobrar em:

- **Identificação de fatores-chave.** São fatores considerados cruciais ou vitais, relacionados com o processo, os quais, segundo Ohmae,

[...] nem sempre é fácil dizer quais fatores são básicos para o êxito. Fundamentalmente o estrategista dispõe de dois caminhos para sabê-lo. O primeiro é dissecar o mercado da maneira mais imaginosa possível, em busca de indicadores que lhe sejam básicos. (OHMAE, 1985)

- **Análise sobre os fatores concorrentes.** Identificação das características do *locus* e identificação de potencialidades e vulnerabilidades dos fatores concorrentes em relação aos fatores-chave.

- **Análise ambiental.** Identificação de potencialidades e vulnerabilidades do processo organizacional em relação aos fatores-chave, o que pode ser feito segundo a identificação de vantagens competitivas, bem como, de situações favoráveis e ameaças.

O resultado do diagnóstico do método pode resultar um plano detalhado, com todas as especificações requeridas para que se possa modificar o objeto de análise. É possível também o delineamento de novas alternativas para o método.

(2) Design de sistemas. São, basicamente, as alternativas de solução ou modelos de saída. Reportam-se ao *design* de um novo sistema, a mudanças de componentes, aos novos componentes, a mudanças nas entradas e realimentação como base em informações obtidas através da análise de sistemas. Observe-se que, o globalismo com que o enfoque sistêmico trata a EA considera que qualquer mudança em um dos componentes, o todo será afetado.

O novo *design* fornece a definição de propósitos, conforme as relações significativas que se estabelecem entre objetivos e medidas de rendimento. Viabiliza, desse modo, o equacionamento ou regulação entre o produto desejado e a entrada necessária.

A partir dos sistemas definidos, com o estabelecimento da seqüência lógica e cronológica das operações esses sistemas devem ser desdobrados em subsistemas. Essa definição é feita tantas vezes quantas forem necessárias para que se possa implementar a metodologia proposta.

O conteúdo metodológico deve deixar claro: (a) seqüência das operações; (b) relações de simultaneidade; (c) decisão; (d) realimentação; (e) responsável pela operação proposta; (f) caso seja elaborado fluxograma, deve-se fazer descrição clara e detalhada de cada operação em seus vários níveis, com a respectiva caracterização dos responsáveis.

Ao se descrever o método existente e o seu ambiente faz-se comparação entre esse e o método desejado. Isso permite uma definição de problema. A análise cuidadosa e a seleção de um deles fornecem uma precisa delimitação da área de atuação do planejamento.

(3) Desenvolvimento ou engenharia de sistemas. Após o *design* sucede-se a projeção e desenvolvimento do sistema. São as atividades concretas que levam a um produto: o sistema modificado – o novo sistema. Assim, essas atividades se direcionam para o aprimoramento da metodologia desejada.

(4) Instrumentalização de sistemas. Refere-se à implantação e implementação. É a introdução da metodologia desenvolvida no método pré-existente (ambiente e macrosistema). Implica ajustes nos componentes globais que interagem com o componente modificado e, por sua vez, resulta, ainda, em novas interações. Cumpre-lhe também o estabelecimento de prioridades e seqüências lógicas de passos para a introdução do novo componente (método).

Portanto, o produto da instrumentalização do sistema, como foi visto anteriormente, é o sistema novo ou modificado inserido no ambiente.

(5) Avaliação de sistemas. O resultado da avaliação de um sistema equivale ao seu delineamento quanto à obtenção e fornecimento de informações úteis ao processo decisório.

No processo avaliativo o controle é feito por *feedback* (figura 10), que corresponde a retorno por informações para que se possa avaliar e instrumentalizar o sistema.



Figura 11 – Controle por *feedback*

Avaliação de um processo sistêmico, segundo Azevedo, pode ser resumida através dos seguintes questionamentos: **(a)** foi resolvido o problema? **(b)** apresentou novos

problemas? Em ambos os casos, se as respostas não forem as desejadas, afirma o autor, necessariamente, há que se retomar o processo e aprimorá-lo até que se atinja o estado desejado. (AZEVEDO, 1995)

Caso as respostas sejam satisfatórias sabe-se que o processo estará pronto para ser operacionalizado e, assim sendo, o produto da avaliação da metodologia será o delineamento, a obtenção e o fornecimento de informações úteis para o processo decisório, o qual, necessariamente, deverá ser submetido à constante controle por *feedback*.

2.6.7 Considerações sobre o atual contexto e tendência mundial

Todo planejamento envolve, em função da natureza própria do assunto, análise de sistemas, diagnóstico situacional e alternativas de solução ou modelos de saída. Essas alternativas ou modelos são intervenções reguladoras que, necessariamente, se assentam em algum conhecimento que irá orientar o seu processo. Foi com base neste entendimento que na abordagem retro se buscou resgatar a realidade global dos impactos transfronteiriços que se apresentam por conta do desenvolvimento.

A nova realidade instalada reclama por estratégias sócio-ambientais. Então, deve a sustentabilidade do desenvolvimento ser fundada no intercâmbio e no aprendizado intercultural, no equilíbrio sócio-ambiental e político-econômico. Enquanto simples parte do ideário de uma sociedade corre o risco de perder a perspectiva do campo prático e se tornar utópica demais para ser tangível, e intangível demais para ser utópica o suficiente e motivar a evolução do pensamento.

Além dessas determinantes, há o *mister* da atualização tecnológica para o desenvolvimento de tecnologias limpas condição imprescindível, para a sustentabilidade do desenvolvimento.

Não obstante, Silva chama a atenção para o fato de que :

O maior desafio da humanidade não será a tecnologia, mas o próprio aprimoramento do ser humano, como pré-requisito para que a tecnologia possa continuar a se desenvolver sem ameaçar a qualidade de vida e a segurança de toda a humanidade [...]. (SILVA, 1989)

Sobre esse contexto Oliveira observa:

A educação ambiental busca um novo ideário comportamental, tanto no âmbito individual quanto coletivo. Ela deve começar em casa, ganhar as praças e as ruas,

atingir os bairros e as periferias, evidenciar as peculiaridades regionais, apontando para o nacional e o global. Deve gerar conhecimento local sem perder de vista o global, precisa, necessariamente, revitalizar a pesquisa de campo, no sentido de uma participação pesquisante, que envolva pais, alunos, professores e comunidade. É um passo fundamental para a conquista da cidadania. (OLIVEIRA, 2000)

Essa forma de educar inova ao sair do padrão cartesiano. Estimula interação entre atores sociais para resolução de problemas. Resgata a cidadania e promove consciência ética pilastrada em valores sociais. E traz novo entendimento sobre as relações do homem com o ambiente.

Um dos sentidos que norteiam essa alternativa educacional é apontado por Morin:

Devemos abandonar a visão de um homem dono e senhor da natureza, não só porque conduziu a violência destrutiva e danos irreparáveis sobre a complexidade viva, mas também porque essas violências e danos retroagem de modo nocivo e violento sobre a própria esfera humana. O mito bárbaro de ‘conquistar’ a natureza, longe de ‘humanizá-la’, instrumentaliza e degrada aquele que a degradou. (MORIN apud CURITIBA, 1991)

Peculiar ao processo construtivo, o campo da educação projeta para o ensino e pesquisa novo espaço conceitual e metodológico, estabelece o alinhamento necessário entre os ponto-de-vista histórico-antropológico, político-econômico, sócio-ambiental e cultural-ecológico. (OLIVEIRA, 2000)

O processo de compreensão crítico-global a respeito de problemas sócio-ambientais, valores e atitudes é dever de todo cidadão cômico do exercício de sua cidadania, obrigação, portanto, disseminar informações e promover a idéia de EA sustentável.

3.0 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA

O estudo do uso do feijão-de-porco como fitorremediador de solos contaminados por chumbo é classificado segundo Rauen (2002), como uma pesquisa experimental que tem por característica a intervenção do pesquisador na realidade pesquisada.

Segundo Kerlinger, 1979 a pesquisa experimental é considerada o melhor exemplo de pesquisa científica, pois há um alto controle de situação, podem-se isolar todas as estruturas de qualquer interferência no meio exterior, gerando maior confiabilidade em seus resultados. Mesmo assim ela é flexível, podendo dar inúmeras respostas diferentes a problemas diferentes com um único experimento.

Gil (2002), destaca que as pesquisas experimentais constituem o mais valioso procedimento disponível aos cientistas para testar hipóteses que estabelecem relações de causa e efeitos entre variáveis. Em virtude de suas possibilidades de controle, os experimentos oferecem garantia muito maior do que qualquer outra pesquisa de que a variável independente causa efeitos na variável dependente.

Gil (2002), ainda afirma que as pesquisas com base em seus objetivos podem ser classificadas em três grandes grupos: exploratórias, descritiva e explicativa, sendo que o presente trabalho aborda a pesquisa explicativa.

- Pesquisas Exploratórias: estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com problema, com vistas a torná-los explícitos ou constituir hipóteses. Pode-se dizer que esta pesquisa tem como objetivo principal o aprimoramento de idéias ou a descoberta de induções. Na maioria dos casos a pesquisa exploratória assume a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

- Pesquisa Descritiva: tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de situações entre variáveis. Entre as pesquisas descritivas salientam-se aquelas que têm por objetivo estudar as características de um grupo: por sua distribuição, idade, sexo, procedência, nível de escolaridade, estado de saúde física e mental, etc.

- Pesquisa Explicativa: tem como preocupação central identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. É o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. Pode-se dizer que o conhecimento científico está assentado nos resultados oferecidos pelos estudos

explicativos. A pesquisa explicativa pode aparecer sob forma de pesquisa experimental e estudo de caso e controle. (GIL apud HEERDT, 2005)

3.2 MATERIAIS E REAGENTES

3.2.1 Materiais utilizados na pesquisa

Materiais utilizados na realização da pesquisa:

Tabela 07 - Materiais utilizados na pesquisa

Materiais	Quantidade	Especificação
Vasos	18	Plásticos
Espátulas	02	Para mexer no solo
Balança	01	Digital, com duas casas decimais.

Fonte: dados laboratoriais

3.2.2 Reagentes utilizados na pesquisa

Reagentes utilizados na realização da pesquisa:

Tabela 08 - Reagentes utilizados na pesquisa.

Reagentes	Quantidade	Especificação
Nitrato de chumbo	170,24 g	---
Nitrato de amônia	98,26 g	---
Solo	150,30 kg	Podzólico amarelo
Calcário	360 g	Para ajustar pH do solo

Fonte: dados laboratoriais

3.3 MÉTODOS

O experimento foi realizado durante o ano de 2007, na área residencial situada na Rua Roberto Zumblick nº 1169, bairro Humaitá, em Tubarão - SC.

3.3.1 Características

- O solo:

O solo é argiloso-podzólico amarelo, coletado no dia 27 de fevereiro de 2007 no bairro Sombrio, no município de Tubarão. Foram coletadas duas amostras, na profundidade de 0 – 20 cm.

O procedimento de coleta de amostragem foi adotado seguindo o manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Para a amostra recomenda-se amostrar o solo na camada mobilizada, ou seja, de 0 a 20 cm de profundidade.

Para as espécies perenes (frutíferas e essenciais florestais), recomenda-se amostrar o solo nas camadas de 0 a 20 cm, e em alguns casos, de 20 a 40 cm de profundidade.

Para a coleta do solo foi utilizada a pá-de-corte.

Após a coleta, alguns cuidados foram importantes para preservar a qualidade do material. Contaminações do solo amostrado podem ocorrer tanto na coleta quanto no manuseio. Uma ferramenta de amostragem oxidada e, principalmente, uma embalagem contaminada com fertilizantes pode afetar os dados analíticos, principalmente as determinações de micronutrientes.

Na amostragem do solo coletado, todos os procedimentos para que não ocorresse contaminação foram realizados.

- Análise

As amostras coletadas foram encaminhadas para análise. O laudo de análise do solo foi realizado pela Central Analítica da UNISC (laboratório participante da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos e de Tecido Vegetal dos Estados de RS e SC), encaminhada pelo comercial Afubra de Tubarão.

- Acondicionamento

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos numa quantidade de aproximadamente 1 kg, etiquetados, indicando os respectivos números das amostras.

3.4 EXPERIMENTO

O experimento foi em vasos 6x3 (quinze doses de chumbo) e três vasos testemunhas.

A planta testada foi *Canavalia ensiformis* popularmente conhecida como feijão-de-porco.

A correção da acidez do solo foi feita objetivando elevar o pH $_{CaCl_2}$ para 6,5, pH no qual as leguminosas têm melhor desenvolvimento.

Para este pH, fez-se o cálculo do produto de solubilidade (Kps), (cálculos que encontram-se no apêndice B) para verificar se ocorre ou não há precipitação de chumbo. Como resultado obteve-se uma tolerância de até 76730,304 mg de chumbo para cada kg de solo, sendo que utilizou-se como cota máxima uma quantidade de 2400 mg/kg, assim, o chumbo presente no solo encontra-se totalmente dissolvido, estando disponível para a absorção da planta.

Para o cálculo da calagem foi considerado o peso de cada vaso, que é em média 8,350 kg. Foi utilizado um total de 180 g de calcário, ou seja, 10 g de calcário por vaso.

O tempo de incubação do calcário foi de 30 dias.

Após a calagem, a amostra do solo foi peneirada e contaminada com nitrato de chumbo $[Pb(NO_3)_2]$, usando as seguintes doses: 0; 100; 200; 350; 1200; e 2400 $mg.kg^{-1}$ de solo, de acordo com o nível de alerta orientado pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo.)

De acordo com o trabalho desenvolvido pela CETESB em 2001, foram estabelecidos critérios, valores e padrões como valores de referência para problemas de contaminação do solo e águas subterrâneas, seguindo a regulamentação 6.510 da lei federal alemã de proteção do solo. (CETESB, 1999)

Os valores de referência para os solos são:

Tabela 09 - valores de referência para os solos

Quantidade de chumbo ($mg.kg^{-1}$)	Nível
100	Alerta
200	Intervenção da área agrícola
350	Para áreas residenciais
1200	Para áreas industriais

Fonte: CETESB

Sendo que 2400 mg.kg^{-1} é uma dose mais elevada de chumbo no experimento para avaliação da contaminação em relação à planta.

Todos os cálculos para a contaminação encontram-se em apêndice A.

Quantidade de chumbo por vaso:

Tabela 10 - Quantidade de chumbo por cada vaso de 8,350 kg.

Quantidade de chumbo (mg. kg^{-1})	Quantidade Chumbo por vaso (g)
100	0,83
200	1,67
350	2,92
1200	10,02
2400	20,04

Fonte: dados laboratoriais

As diferentes doses de nitrogênio adicionadas em função das doses de chumbo aplicados na forma de nitrato de chumbo foram compensadas pela adição de nitrato de amônio. Com isso, buscou-se equilibrar a quantidade de nitrogênio acrescentado pelas diferentes doses de nitrato de chumbo com base na dose mais elevada de chumbo, 2400 mg.kg^{-1} .

As quantidades de nitrato utilizado para obtenção das amostras são:

Tabela 11 - Quantidade de nitrato utilizada para obtenção das amostras.

Quantidade de chumbo (mg. kg^{-1})	Quantidade nitrato por vaso (mg)
100	159,9
200	319,8
350	559,7
1200	1918,8
2400	3837,7

Fonte: dados laboratoriais

A quantidade de nitrato necessário para o experimento por vaso:

Tabela 12 - Quantidade de nitrato necessária para o experimento.

Quantidade de chumbo (mg. kg ⁻¹)	Quantidade nitrato por vaso (g)
100	1,33
200	2,67
350	4,67
1200	16,02
2400	32,04

Fonte: dados laboratoriais

A quantidade de nitrato de amônio por vaso necessário:

Tabela 13 - Quantidade de nitrato amônio necessária por vaso.

Quantidade de chumbo (mg. kg ⁻¹)	Quantidade nitrato amônio por vaso (g)
100	7,42
200	7,09
350	6,61
1200	3,87
2400	0
Testemunha	7,74

Fonte: dados laboratoriais

Essas concentrações foram adicionadas ao solo.

Foram plantadas no dia 23/08/07 em copos plásticos com o mesmo solo levado para análise (solo argiloso podzólico amarelo) 100 sementes, ou seja, cada copo recebeu uma semente onde apresentava condições apropriadas para seu crescimento.

No dia 10/09/07 foram transplantadas para os devidos vasos 3 plântulas uniformes de *Canavalia ensiformis* para cada vaso nas concentrações anteriormente preparadas.

No mês de setembro, houve uma incidência de fortes chuvas com ventos na região, e observou-se que algumas folhas ficaram um pouco murchas, que poderia estar associada à fitotoxicidade, no entanto o tempo melhorou e as plantas tornaram-se vistosas.

No dia 24/09/07 observou-se de uma forma não significativa em todas as concentrações, inclusive na testemunha, manchas brancas nas folhas (clorose).

Aos 56 dias as plantas foram colhidas e encaminhadas para análise.

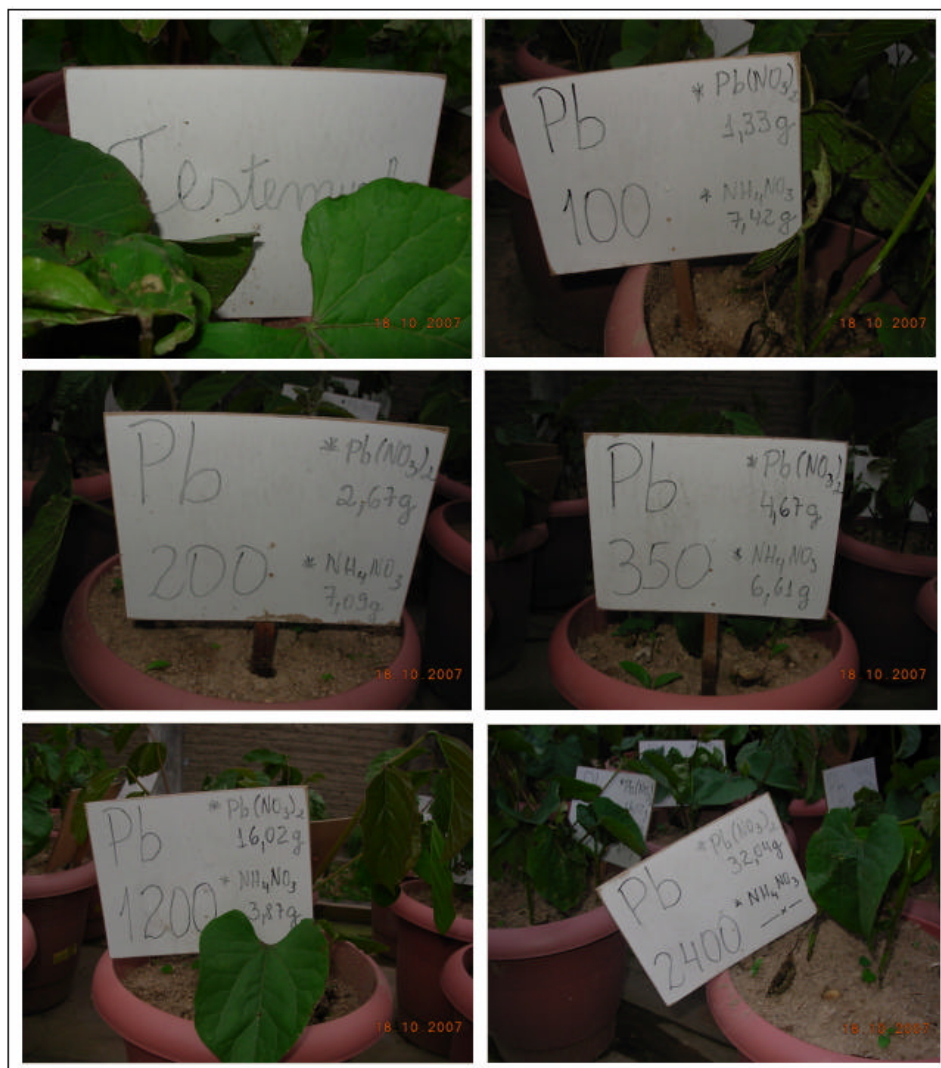


Figura 12 - Identificação das plantas

Fonte: Dados laboratoriais

As amostras foram encaminhadas para a análise em embalagens plásticas devidamente etiquetadas. Elas foram lavadas com água destilada/deionizada e enxaguadas com água Milli-Q. Após, foi realizada a secagem numa estufa à temperatura de 65 °C até que a planta estivesse totalmente desidratada, para que então pudesse ser pulverizada (triturada), finamente em um multiprocessador.

Após este preparo, pesou-se 300 mg da planta pulverizada em um bloco digestor de microondas, adicionou-se 3 mL de peróxido de hidrogênio (P.A MERCK) e 4 mL de ácido nítrico (P.A MERCK) e colocou-se no forno microondas para que haja digestão completa da amostra.

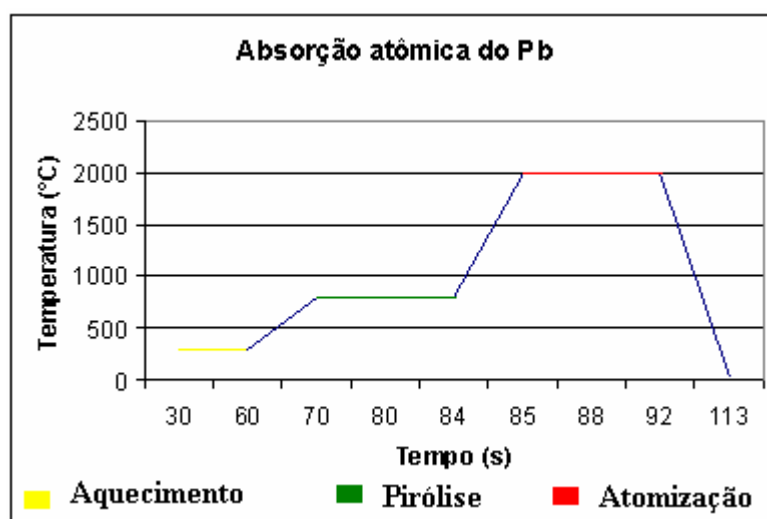
Filtrou-se em papel filtro de filtração rápida para um balão volumétrico de 100 mL, lavando com água Milli-Q quente. Deixou-se a solução em repouso para que chegasse à

temperatura ambiente, após avolumou-se e então realizou-se a análise no espectrofotômetro de absorção atômica.

A determinação de chumbo foi realizada por Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite (ETAAS), Varian Zeeman 220.

As temperaturas de pirólise e atomização empregadas para chumbo foram respectivamente, de 800°C e 2000°C.

Gráfico 01 - Etapas da atomização do Pb



Fonte: Dados laboratoriais

Os resultados obtidos foram transformados em gráficos que relacionam a influência da concentração de chumbo no meio, expresso em $\text{mg}_{\text{Pb}}.\text{kg}^{-1}_{\text{solo}}$, com a capacidade de fitorremediação da planta dada em $\text{mg}_{\text{Pb}}.\text{kg}^{-1}_{\text{planta}}$, ou seja, a remoção de chumbo do solo para o vegetal aplicado no estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados e discussões da análise do laudo de solo antes da fitorremediação

O laudo de solo foi encaminhado pela Agro Comercial Afubra Ltda (Tubarão) para UNISC – laboratório participante da rede oficial de laboratórios de análise de Solos e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC.

A análise do laudo teve como fonte bibliográfica: Comissão de Fertilidade do solo – RS/SC – Recomendação de adubação e de calagem para os estados do RS e SC.

Foram encaminhadas duas amostras (nº1 – registro 11490-1 e nº2 – registro 11490-2) do mesmo solo retiradas nas camadas de zero a 20 cm de profundidade com pá de corte e colocados em embalagens cedidas pela UNISC com 1 kg cada embalagem.

Após a coleta do solo, alguns cuidados são importantes para preservar a qualidade do material. Contaminações do solo amostrado podem ocorrer tanto na coleta como no manuseio. Uma ferramenta de amostragem enferrujada e, principalmente, uma embalagem com resíduos de fertilizantes pode afetar o resultado analítico, principalmente, as determinações de micronutrientes. Recomenda-se não expor ao sol, especialmente, se embalado em recipiente de plástico fechado, pois o aquecimento do solo aumenta a taxa de decomposição da matéria orgânica e de resíduos com formação de sais que podem alterar o pH do solo. Sempre que possível, a amostra deve ser seca ao ar, antes de ser enviado ao laboratório. Neste caso, recomenda-se espalhar a amostra úmida sobre uma lona de plástico, à sombra e em local ventilado. Dessa maneira, não é necessário enviar a amostra imediatamente ao laboratório, pois não ocorrerão alterações que possam afetar o resultado da análise. Como neste estudo a amostra foi entregue ao laboratório na mesma semana em que foi coletada, a secagem foi dispensada.

O solo enquadra-se na classe 4, conforme o teor de argila – 15% de argila

Tabela 14 - Classes do solo conforme o teor de argila

Classe	% argila
1	> 60 %
2	60 a 41%
3	40 a 21%
4	< 21

Fonte: Manual de adubação e calagem

Na amostra nº1 obteve-se pH = 4,7 e na amostra nº2 o pH foi de 4,8.

Para o índice SMP, quantidade de calcário estimada em que 1 SMP é equivalente à dose de calcário para atingir o pH em água desejado, obteve-se 6,2 para as ambas as amostras.

- O pH e índice SMP

Recomenda-se:

Calcário	pH
1,0 tonelada/ha.	5,5
2,2 tonelada/ha.	6,0
3,7 tonelada/ha.	6,5

Fonte: Manual de adubação e calagem

Em relação ao teor de fósforo na análise de solo onde foi encontrado na amostra nº 1(>50) e na amostra nº 2 (>50), é considerado um teor alto, conforme o método de resina de troca aniônica em lâminas.

Tabela 15 - Interpretação do teor de fósforo no solo, conforme o teor de argila e para os solos alagados.

Interpretação	Classe de solo conforme o teor de argila ¹				Solos Alagados
	1	2	3	4	
	mg/dm ³				
Muito Baixo	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 7,0	?
Baixo	2,1 - 4,0	3,1 - 6,0	4,1 - 8,0	7,1 - 14	≤ 3?
Médio	4,1 - 6,0	6,1 - 9,0	8,1 - 12,0	14,1 - 21,0	3,1 - 6,0
Alto	6,1 - 12,0	9,1 - 18	12,1 - 24,0	21,1 - 42,0	6,1 - 12,0
Muito Alto	> 12,0	> 18,0	> 24,00	> 42,0	>12,0

¹Teores de argila: classe1 = >60%; classe 2 = 60 a 41%; classe 3 = 40 a 21 %; classe 4 = < 21%

Fonte: Manual de adubação e calagem

Quanto à interpretação do teor de potássio a amostra nº 1 (146 mg/L) é considerado alto e na amostra nº 2 (80 mg/L) suficiente.

Tabela 16 - Interpretação do teor de potássio no solo, conforme o teor de argila e para os solos alagados.

Interpretação	mg de K /dm ³		
	> 15	5,1 - 15	<5,1
Muito Baixo	≤ 30	≤ 20	≤ 15
Baixo	31 - 60	21 – 40	16 -30
Médio	61 - 90	41 – 60	31 - 45
Alto	91 - 180	61 - 120	46 - 90
Muito Alto	>180	> 120	> 90

Fonte: Manual de adubação e calagem

Em relação aos teores de cálcio e magnésio utilizam-se três faixas para a classificação: “baixo”, “médio” e “alto”.

Para as amostras obteve-se os seguintes valores e respectivas classificações:

Tabela 17 - Valores de Cálcio e Magnésio nas amostras.

Amostra	Ca (mol/L)	Mg (mol/L)
nº 1	3,3	1,1
nº 2	2,8	1,3

Fonte: Laboratorial

Portanto, quanto ao teor de cálcio e magnésio nas duas amostras, podem ser classificados como médio, de acordo com a tabela a seguir.

Tabela 18 - Interpretações de teores de cálcio e de magnésio trocáveis, e de enxofre extraível do solo.

Interpretação	cmol _c /dm ³		mg /dm ³
	Cálcio	Magnésio	Enxofre ¹
Baixo	≤ 2,0	≤ 0,5	≤ 15
Médio	2,1 - 4,0	0,6 - 1,0	2,1 - 5,0 ¹
Alto	>4,0	> 1,0	> 5,0

¹Para leguminosas, brásicas e liláceas, o teor deve ser maior que 10 mg/dm³. Considerar que a camada de 10 a 20 cm de profundidade, geralmente, apresenta maior teor de enxofre que a camada de zero a 10 cm.

Fonte: Manual de adubação e calagem

Quanto aos teores de enxofre, cobre, zinco e boro, também são utilizados três faixas de interpretação “baixo”, “médio” e “alto”. Os valores obtidos foram:

Tabela 19 - Valores de Enxofre, Cobre, Zinco e Boro nas amostras.

Amostra	S (mol/L)	Cu (mol/L)	Zn (mol/L)	B (mol/L)
n° 1	10,4	0,5	1,4	0,4
n° 2	17,8	0,8	2,1	0,3

Fonte: Laboratorial

Tabela 20 - Interpretação de micronutrientes no solo.

Interpretação	mg/dm ³				g/dm ³
	Cobre	Zinco	Boro	Manganês	Ferro
Baixo	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 2,5	----
Médio	0,2 - 0,4	0,2 - 0,5	0,1 - 0,3	2,5 - 5,0	---
Alto	> 0,4	> 0,1	> 0,3	> 5,0	> 5,0

Fonte: Manual de adubação e calagem

Em comparação entre os valores obtidos de enxofre, cobre, zinco e boro nas amostras, com a interpretação de micronutrientes no solo, pode-se dizer que os teores são considerados altos, porém, suficientes.

A interpretação de teor de matéria orgânica (M.O) no solo analisado é mostrada na tabela a seguir:

Tabela 21 - Valores de M.O

Amostra	M.O (%)
n° 1	2,4
n° 2	2,2

Fonte: Laboratorial

O teor de M.O na amostra pode ser considerado baixo, já que os resultados foram menores que 2,5%, conforme indica a tabela:

Tabela 22 - Interpretação de micronutrientes no solo.

Argila		Matéria Orgânica	
Faixa	Classe	Faixa	Interpretação
%		%	
< 21	4	< 2,6	baixo
21 - 40	3	2,6 - 5,0	médio
41 - 60	2	> 5,0	alto
> 60	1	---	

Fonte: Manual de adubação e calagem

4.2 Resultado da análise do solo após a fitorremediação

Os valores obtidos na espectroscopia de absorção atômica encontram-se na tabela a seguir, onde estão classificados em amostras 1, 2 e 3, sendo que, em cada amostra encontra-se o valor referente as três plântulas de cada vaso.

Tabela 23 – Quantidade de chumbo encontrado nas amostras após a fitorremediação.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)
Testemunha	2,33	0,87	0,24
100 mg/kg	7,92	13,61	17,06
200 mg/kg	21,07	19,87	24,65
350 mg/kg	31,24	47,32	30,17
1200 mg/kg	62,57	56,20	41,76
2400 mg/kg	63,33	40,29	35,19

Fonte: Dados laboratoriais

Para eliminar o valor de chumbo presente nas amostras testemunha, diminuiu-se cada amostra de sua respectiva testemunha, assim obteve-se os seguintes valores:

Tabela 24 – Valor de Pb absorvido por cada planta, desprezando o valor de cada testemunha.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)
100 mg/kg	5,59	12,74	16,82
200 mg/kg	18,74	19,00	24,41
350 mg/kg	28,91	46,45	29,93
1200 mg/kg	60,24	55,33	41,52
2400 mg/kg	61,00	39,42	34,95

Fonte: Dados laboratoriais

4.3 Discussão dos resultados da fitorremediação

A fitorremediação de áreas poluídas é bastante útil para o meio ambiente devido à utilização de plantas específicas, no intuito de amenizar ou, até mesmo, despoluir totalmente áreas contaminadas.

A planta utilizada no estudo foi a *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco). Esta planta apresenta crescimento inicial rápido, no entanto não foi observado este crescimento rápido devido ter ocorrido uma incidência de fortes chuvas na região.

Conforme os dados experimentais, observou-se que nas concentrações de 100, 200, 350 e 1200 mg.kg⁻¹ a absorção de chumbo na planta aumentou.

Na concentração de 2400 mg.kg⁻¹ a planta continuou a absorver, mas houve um declínio na absorção.

A planta estudada, foi colhida após 56 dias, sendo assim não estavam no estágio de desenvolvimento total, pois esta inicia seu florescimento aos 74 dias após a sua emergência, neste período a planta gasta mais energia para o florescimento.

Devemos levar em consideração que houve o crescimento da planta e não o seu desenvolvimento, pois o crescimento é o aumento de tamanho, enquanto o desenvolvimento ocorre ao mesmo tempo em que o crescimento e se constitui em uma série de fenômenos que vão acontecendo enquanto a planta cresce e que culminam com a sua maturidade sexual.

A planta apresenta mecanismos celulares para desintoxicação. Muitos são os sintomas tóxicos na planta, causados pela ação de poluentes, inibindo a atividade celular ou rompendo a estrutura da célula devido a sua interferência sobre um elemento essencial.

Para HALL apud COUTINHO, 2002, as estratégias pra controlar o aumento de metais pesados são diversos. Extracelularmente, elas incluem funções para micorrizas (associação íntima de fungos e raízes no solo que facilita a assimilação dos minerais pela planta), parede celular e transpiração extracelular. A tolerância aos metais pesados podem também envolver a membrana plasmática.

HALL apud COUTINHO, 2002, menciona ainda, embora nem sempre sejam consideradas como um mecanismo de tolerância a metais pesados, as micorrizas podem ser úteis na diminuição do efeito tóxico em plantas.

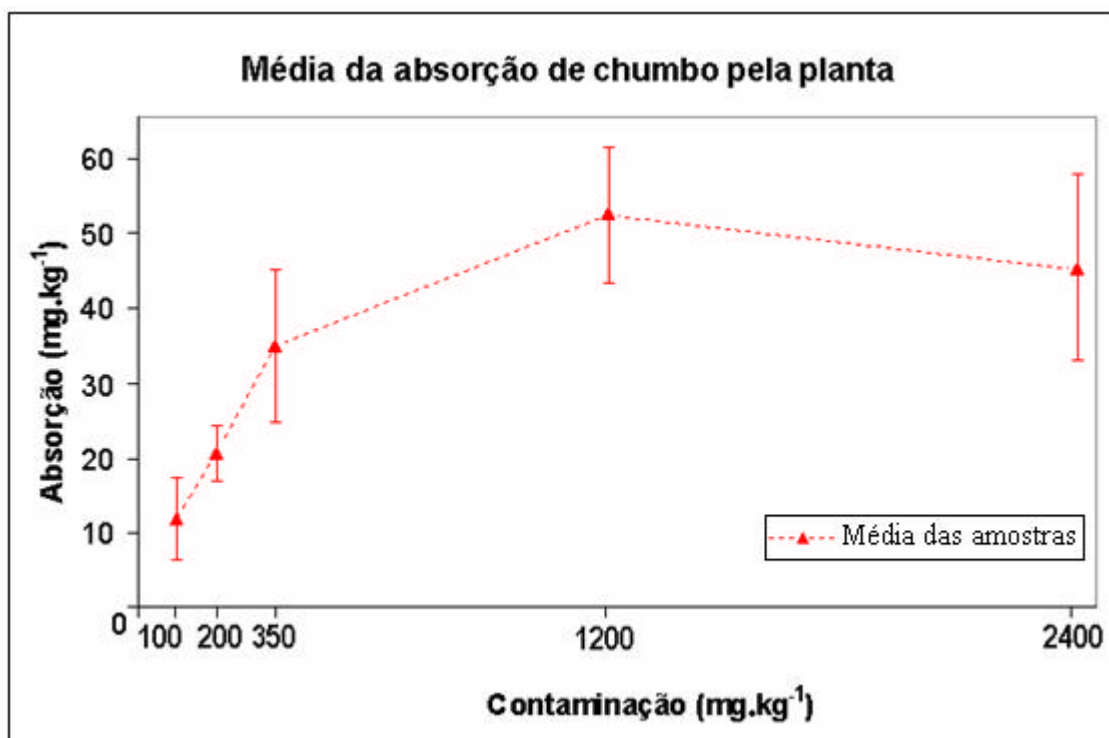
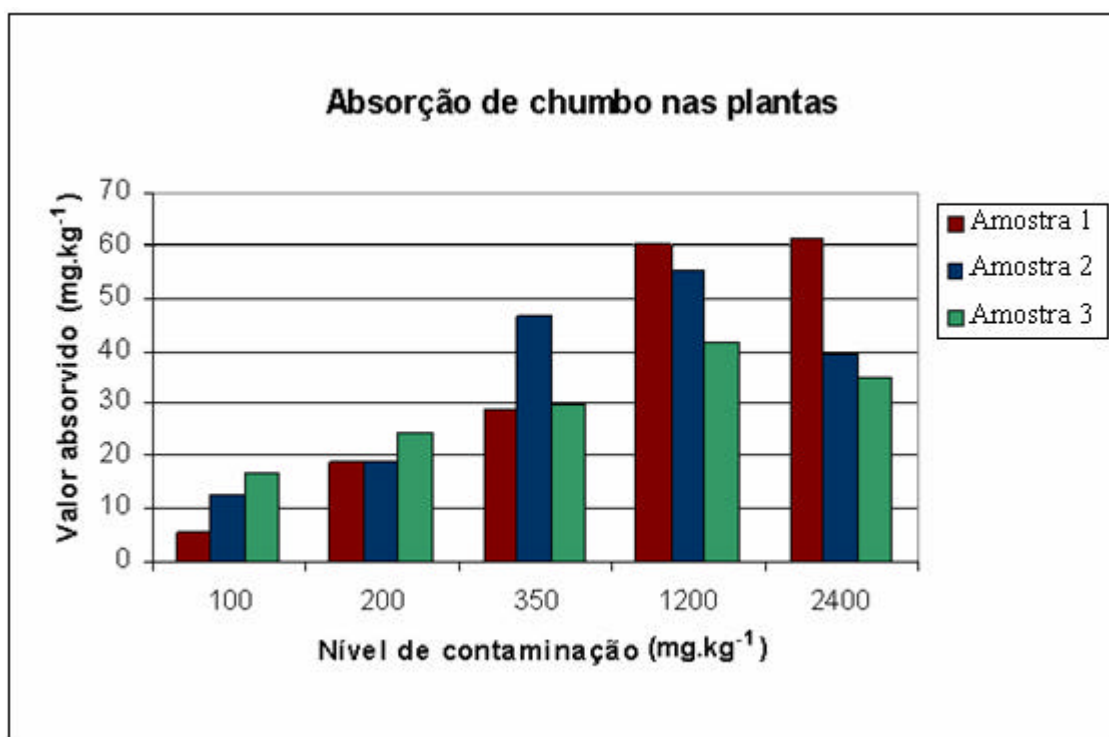
O mecanismo utilizado pelo fungo para adaptação da célula e para tolerância aos metais pesados é similar às estratégias usadas por plantas grandes, forçando a ligação do metal no meio extracelular e isolando no compartimento vacuolar.

HALL apud COUTINHO, 2002, salienta ainda que a membrana plasmática da planta pode ser considerada a primeira estrutura viva que funciona como um alvo dos metais pesados, pois sua função pode ser rapidamente afetada. Outro fator pode ser a manutenção da integridade da membrana plasmática na presença de metais pesados. A membrana pode desempenhar uma importante função na homeostase de metais, seja pela prevenção ou redução da entrada na célula. Porém as formas de transporte e as localizações específicas de muitas proteínas envolvidas na acumulação de metais pesados nas plantas, ainda são desconhecidas.

HALL apud COUTINHO, 2002, ainda ressalta que os ácidos carboxílicos e aminoácidos são potentes ligantes para metais pesados e podem por isso desempenhar uma função na tolerância e desintoxicação. Contudo, ainda não foi observada uma forte evidência para uma função na tolerância tal como uma clara correlação entre quantidades de ácidos produzidos e exposição a um metal.

Deve-se levar em consideração, ainda, a possibilidade do solo não estar igualmente homogeneizado, o que acarretaria variações para mais ou para menos na absorção da planta.

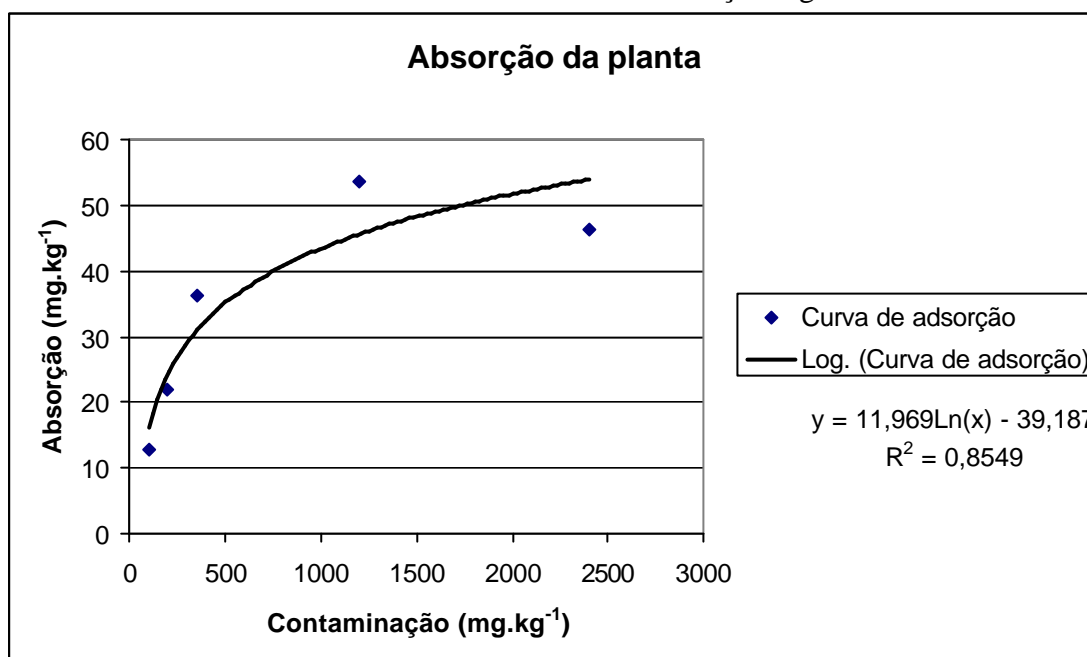
Os gráficos 02 e 03 apresentam a média de absorção de chumbo e a absorção por cada amostra, respectivamente.

Gráfico 02 - Média da absorção de chumbo das amostras (mg.kg^{-1})Gráfico 03 - Absorção de chumbo por cada amostra (mg.kg^{-1})

Em modo estatístico, o modelo logarítmico tem se mostrado mais adequado referente à curva de adsorção, como mostrado no gráfico 04 abaixo. A cada unidade que se aumenta em $\ln x$ ou em logaritmos de X , ou em mg.kg^{-1} de chumbo, aumenta-se também a absorção da planta em 11,969.

Ainda $R^2 = 0,8549$ significa que a partir da variável independente pode-se prever 85,49% da variável dependente.

Gráfico 04 – Análise estatística com função logarítmica



5 CONCLUSÕES

Estudos sobre fitorremediação estão sendo desenvolvidos visando uma série de benefícios para a sustentabilidade ambiental e o futuro do planeta. Vários são os poluentes e a cada dia surge algo novo, trazendo algum tipo de dano para todo o habitat.

Muitas atividades provocam a contaminação ou enriquecimento do solo com metais pesados. Essas atividades encontram-se distribuídas em diversos níveis da cadeia produtiva. As fontes poluidoras primárias são conseqüências da atividade direta com o solo, como por exemplo, a agricultura. Já as fontes secundárias de poluição ocorrem indiretamente por atividades industriais, pela disposição inadequada de resíduos, etc.

Desta forma, desperta o interesse nos meios científicos pelo problema da disposição de metais no ambiente, em função das conseqüências que podem acarretar ao ecossistema e a saúde humana.

Com o estudo realizado, pode-se observar que nas concentrações de 100, 200, 350 e 1200 mg.kg⁻¹ a planta teve maior absorção de chumbo. Já na concentração de 2400 mg.kg⁻¹ a planta não apresenta resultados significativos na absorção do metal chumbo. Deve-se levar em consideração que as plantas não estavam no estágio de desenvolvimento total. O contaminante deve estar ao alcance das raízes da planta fitorremediadora.

O comportamento experimental observado para a fitorremediação da planta em relação a sua capacidade de remoção de chumbo do solo demonstra que para elevadas quantidades de chumbo a capacidade de fitorremediação tende a permanecer constante, independente da quantidade de chumbo no solo. Esse fato nos leva a concluir que a planta possui sítios finitos para a adsorção do chumbo para sua posterior assimilação. A saturação é observada para valores acima de 1000 mg.kg⁻¹.

Nas concentrações mais altas de chumbo no solo, mesmo a planta absorvendo metais cria mecanismos celulares para diminuir essa absorção e controlar suas atividades celulares.

As estratégias para controlar o aumento dos metais pesados são diversas; tais como o acúmulo nos triômas, translocação para as folhas mais velhas, exsudação de substâncias contendo metais quelatados, ligações de metais às paredes celulares, alterações das estruturas das membranas e permeabilidade, restrição de transporte pela raiz para parte aérea, alteração do metabolismo celular, produção de compostos intracelulares sequestradores de metais e ativação das bombas transportadoras de íons metálicos para os vacúolos.

Além disso, em nível citoplasmático, a redução do estresse pode ocorrer pela complexação de metais com ácidos orgânicos e inorgânicos, fitatos, fitoquelatinas e outros.

Portanto, a planta tende a apresentar uma tolerância ao metal, quando os níveis ultrapassam, cria mecanismos para sobreviver, ou seja, entra em homeostasia.

Assim, de acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que a planta apresenta um potencial fitorremediador, quando se trata do chumbo.

Em vista disso, é necessário que mais estudos nessa área sejam realizados no intuito de melhor conhecer a capacidade fitorremediadora das plantas, bem como a possível utilização no combate à poluição.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Novos estudos que apontem outras espécies que tenham capacidade de se adaptar a solos contaminados e que sejam fitorremediadores de solos.
- Observou-se que a semente do feijão-de-porco contém óleo. Promover estudos desta semente para um possível biodiesel, uma vez que metais não são solúveis em óleos.
- Novos estudos que possam promover alternativas para o destino das plantas contaminadas, para que não causem impacto negativo ao meio.

• REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEITUNO, J. **Ministério inspeciona atendimento aos contaminados por chumbo.** O ESTADO DE SÃO PAULO. 07 mai 2002.

AGRONOMIA. **Série Leguminosas Tropicais.** Disponível em:
<http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_leguminosas_tropicais_canavalia.htm> Acesso em 20 set 2007.

ALLOWAY, B.J.. **Heavy metals in soils.** John Wiley and Sons, Inc. New York, 1990

ANDRADE, J. C.M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F; **Fitorremediação:** o uso das plantas na melhoria da qualidade ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

ANJOS, L. H. C.; RAIJ, B. V. Indicadores de processos de degradação de solos *apud* ROMEIRO, Ademar Ribeiro (org.) **Avaliação e contabilização de impactos ambientais.** Campinas: UNICAMP, SP; Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004

ARAÚJO, B. S. **Fitorremediação:** tolerância e metabolismo de compostos Xenobióticos por raízes de *Daucus carota* geneticamente transformadas pela *Agrobacterium rhizogenes*. 2000. 85f. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas.

AZEVEDO, A. C. P. **Metodologia de elaboração de projetos.** Porto Alegre: Instituto de Administração Hospitalar e Ciências da Saúde, 1995.

BARBIERI, José Carlos. **Desenvolvimento e meio ambiente:** as estratégias de mudanças da agenda 21. 6. ed. Petrópolis: Vozes, 1997

BAVARESCO, A. S. L.; **Lagoas de aguapés no tratamento terciário de dejetos de suínos.** Florianópolis, 1998. Dissertação (mestrado em engenharia de produção)

BELO, A. F. **Técnicas para fitorremediação de solo contaminado com herbicidas** Viçosa :UFV, 2006. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: http://servicos.capes.gov.br/capesdw/resumo.html?idtese=20061632_002017001P3 Acesso em: 13 mar 2008.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas.** 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1975.

BOGDAN, A. V. **Tropical pasture and fodder plants:**Grasses and legumes. London and New York, 475 p., 1977.

BONAVIDES, P. **Curso de direito constitucional.** 7.ed. São Paulo: Malheiros Editores, 1997.

BRANCO, S.M., BERNARDES, R.S. **Culturas hidropônicas como forma de remoção e reciclagem de nutrientes minerais dos efluentes de sistemas de tratamento de esgotos**. Revista. DAE, v. 134, p. 113 (1983).

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição Federal da república Federativa do Brasil**: atualizada até a emenda constitucional nº 52, de 19-12-2003, com notas remissivas e o texto original revogado. Porto Alegre: Verbo Jurídico, 2006, p. 6.

BRASIL, E. **Efeito Estufa**. Disponível em:
<<http://www.brasilestela.com/geografia/efeito-estufa.htm>> Acesso em 29 jan 2008.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais**; documento introdutório. Brasília, DF: Senado Federal, 1997, p. 56.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Educação ambiental**. Curso básico à distância. 2. ed. Brasília, DF: Senado Federal, 2001, p. 36.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nºs 1/92 a 52/2006 e pelas Emendas Constitucionais de Revisão nºs 1 a 6/94. Brasília; (DF), Senado Federal, 2004.

BRASIL. **Lei n. 9.795, de 27 de abril de 1999**: Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil-3/Leis/l.9795.htm>. Acesso em: 15 out. 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Propostas de diretrizes para a implementação da política nacional de educação ambiental**. Disponível em:
<<http://www.bdt.fat.org.br/educacao/lei/diretrizes>>. Acesso em: 18 out. 2006.

BOGDAN, A. V. **Tropical pasture and fodder plants**: Grasses and legumes. London and New York, 475 p., 1977.

BROOKS, R. R. **Phytoremediation by volatilisation**. In Brooks, R.R [Ed], Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, CAB International, Wallingford, p.289 (1998).

CAMPANILI, M. **Apenas 22% dos resíduos industriais têm tratamento adequado**. O ESTADO DE SÃO PAULO. 02 mai 2002.

CAMPOS, M. J. A.; NAKANO, V. **Metais pesados**: um perigo eminente. São Paulo: USP, [200?]

CARDOSO, F. **Efeito estufa**: por que a Terra morre de calor. Editora Terceiro nome: 2006.

CETESB. **Regulamentação da Lei Federal Alemã de proteção do solo e de AC (RLFPS) 6510**. Projeto CETESB, 1999

CHANEY, R.L.; RYAN, A.J. **Toxic metals and toxic organic pollutants in MSW-composts**. In: HOITINK, H.A. & KEENER, H.M., eds. Research results on phyto-availability, bioavailability, fate, etc. Worthington, Renaissance, 1993.

CHIAVENATO, I. **Gestão de Pessoas**. Rio de Janeiro: Campus, 1999

CYSNE, M.; AMADOR, T. **Estudo de política e direito do ambiente da UICN, no.42"**, IUCN Environmental Law Centre; 2000.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE . **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001/86**. disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em 25 jun 2007.

CONSUMIDOR BRASIL, **Ação popular**. Disponível em : <www.consumidorbrasil.com.br> Acesso em 20/09/2007

COOK S., HENDERSHOTNN, W, **Linking plant tissue concentrations and soil copper pools in urban contaminated soils**. Environmenal Pollution 94:154-157, 1996.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Degradação ambiental** *apud* GUERRA; CUNHA, 2000.

CUNNINGHAM, S. D., ANDERSON, T. A., Schwab, P. F. C., **Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants** .Adv. Agron. (56) p.55 (1996).

DIAS, G. F. **Educação Ambiental**: princípios e prática. São Paulo: Gaia, 1994.

DINARDI, A. L; FORMAGI, V. M.; PELEGRINI, R.; **Fitorremediação**. Limeira, 2003. III fórum de estudos contábeis

DURKHEIM, E. **As regras do método sociológico**. Petrópolis: Vozes, 1994

DURMISHIDZE, S. V. **Metabolism of certain air-polluting organic compounds in plants (review)**. Applied Biochemistry Microbiology, v.13, 1977

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Introduction to phytoremediation**. Cincinnati, Ohio, 2000.

ESCOLA SECUNDARIA ANTONIO SÉRGIO, **Metais pesados**. Vila Nova de Gaia, Portugal, 2007

FAÇANHA, G.S.; CASTRO, R.F.; SANTANA, G.P.; **Fitoextração de Pb^{2+} em latossolo contaminado por Pb^{2+} , Cr^{2+} e Zn^{2+} utilizando as espécies *Cyperus surinamensis* e *Panicum maximum***. Natal: set 2007. (artigo) Associação Brasileira de Química.

FATMA, **Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/servico/licenciamento.htm>> Acesso em 29 jan 2008.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; **Modifications in the population of spontaneous plants in the presence of green manure**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2001, vol.36, n. 11, ISSN 0100-204X.

FRANK, N. R. **Studies on the effects of acute exposure to sulfur dioxide in human subjects**. Proc. roy. Soc

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Metais pesados**. Disponível em: <<http://revista.fapemig.br/9/meioambiente.html>> Acesso em 15 ago 2007.

FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA. **Pós-graduação em gestão e auditoria ambiental**. Manaus: Editora da FUNIBER, 2005, p. 39.

FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA. **Contaminação do solo**. Manaus: Editora da FUNIBER, [200?]

GIL, A.C.; **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas: 2002.

GLASS, D. J **The 1998 United States Market for Phytoremediation**, D. Glass Associates, Needham, p.139(1998)

GOLDSMITH, J. R. **Carbon monoxide research recent and remote**. Arch. environm Hlth, 118-20, 1970.

GUAIME, S. **Laudo comprova contaminação dos moradores de Paulínia**. O ESTADO DE SÃO PAULO. 23 ago 01.

HAAG, H.P.; MINAMI, K. **Nutrição mineral de hortaliças Requerimento de nutrientes pela cultura da beterraba**. 2A. edição, FundaçãoCargill, Campinas, p. 52 (1988).

HADDON, W. et al. **Smoking and pregnancy: Carbon monoxide in the blood during gestation and at term**. Obstet. Gynec., 262-7, 1961.

HALL, J.L.; Cellular mechanism for heavy metal detoxication and tolerance. *apud* COUTINHO, D.H.; BARBOSA, A. R.; **Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização**. Universidade Federal de Paraíba, 2007.

HORTI RELVA. **Macrófitas em tratamento de água**. Disponível em: <<http://www.hortirelva.pt/etares.htm>> Acesso em: 03 set 2007.

HUNTER, D. **The diseases of occupations**. London, The English Universities Press, 1970

IBAMA. **Educação ambiental: legislação e normas**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/cgeam/index.php?id_menu=73> Acesso em: 03 set 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Cursos de Processos de Avaliação de Impacto Ambiental**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ambtec/documentos/htm/Link_Curso_do_Processo_de_Avalia.htm> Acesso em 23 ag 2007.

KIRSTEN, R. O melhor do mundo. **Terra lança S.O.S: peixes, neves, corais, revolta da natureza x aquecimento**, 31 jan 2007. Disponível em: <http://arquivosreporter.blogspot.com/2007_01_01_archive.html>. Acesso em: 29 jan 2008.

KROEMER, A. *apud* SILVA, B.; et. al., **Dicionário de ciências sociais**. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 1986. 1413 p.

KUROZAWA C. **Glossário**. Disponível em: <www.globoruraltv.globo.com/GRural/0,27062,LTP0-4373-0-L-F,00.html> Acesso em 03 ago 2007

LA BELLE, C. W. et al. **Synergistic effects of aerosols**. Arch. industr. Hlth, 11:297-304, 1965.

LABORATÓRIO DE LIMNOLOGIA. **Hidroponia e as macrófitas aquáticas**. Disponível em: <<http://vivimarc.sites.uol.com.br/hidroponia.htm>> Acesso em 27 jul 2007.

LASSAT, M. M. **Phytoremediation of metals from contaminated of soils: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues**. Journal of Hazardous substance research, Kansas State University, v. 2, 2000.

LAYRARGUES P.P. **A resolução de problemas ambientais locais deve ser um tema-gerador ou atividade-fim da educação ambiental**. In: REIGOTA, M. (Org.) Verde cotidiano: o meio ambiente em discussão. Rio de Janeiro: DP& A, 1999.

LARINI, L. Toxicologia. 3. ed. São Paulo: Manolo, 1997.

LEPSCH, I. F. **Solos, formação e conservação**. 2 ed. São Paulo: Melhoramentos, 1977.

MCGRATH, S.P. **Phytoextraction for soil remediation**. In Brooks, R. R[Ed], *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals*, CAB International, Wallingford, p.261 (1998).

MELLO, J. C. **Meio ambiente, educação e desenvolvimento**. São Paulo: Ed. Interamericana, 1996.

MÉDICO (SER). **Al gore versus o fim do mundo**. Disponível em :
<www.cremesp.org.br/revistasermedico/nova_revista/corpo.php?MaterialId=272> Acesso em 19 set 2007.

MEDINA, N. M. **Elementos para a introdução da dimensão ambiental na educação escolar**: 1º Amazônia: uma proposta interdisciplinar de educação ambiental. Brasília: IBAMA, 1994, p. 56.

MILARÉ, E. **Direito do Ambiente**: doutrina, prática, jurisprudência, glossário. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2001.

MORGAN, G. B. et al. **Air pollution surveillance system**. Science, 289-96, 1970.

MORIN apud CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. **A educação no contexto escolar**. Curitiba, 1991, p. 13.

NIELSEN, N. H. **Filosofia da educação**. São Paulo: Melhoramentos, 1988.

O QUE É A FITORREMEDIAÇÃO? Disponível em:
<<http://www.geocities.com/SiliconValley/Drive/5014/branci3.html>> Acesso em 19 jul 2007.

OLIVEIRA, E. M. **Educação ambiental uma possível abordagem**. 2. ed. Brasília: IBAMA, 2000.

OHLWEILER, O. A. **Química Inorgânica**, Editora Edgar Blücher, São Paulo, 1971.

OHMAE, K. **Estratégia em ação**. São Paulo: Pioneira, 1985, p. 41.

ONU apud RICHARDS, Brian Jean. **Last time**. New York: Quintessence, 1991, p. 46.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. **Pedologia e geomorfologia** apud GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. (org.). 3 ed. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000, p. 66.

PATTY, F. A. **Industrial hygiene and toxicology**. New York, Interscience Publishers, 1958.

PEDRINI, A. G. (Org.). **Educação ambiental: reflexões e práticas contemporâneas**. 3. ed. Petrópolis: Ed. Vozes, 2000.

PIERANGELI, M.A.P., **Chumbo em latossolos brasileiros**; adsorção e dessorção sob efeito de pH e força iônica. Lavras 1999.108 p. Dissertação. (mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Lavras

PINTO, A. V. **Sete lições sobre educação de adultos**. 5. ed. São Paulo: Autores Associados: Cortez, 1987, p. 29.

PIRES, F.R. **Seleção de espécies vegetais para fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron**. 2003. 65f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

POLUIÇÃO DO SOLO. Disponível em:
<<http://www.cesetunicamp.Br/~fteran/Gerais/POLUI%C7%C3%20DO%20SOLOdoc> >
Acesso: 26 abr. 2007. (p. 1 de 2)

RAUEN, F. **Metodologia científica**. Tubarão: Unisul, 2002.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no sistema Solo-Planta-Atmosfera**. CAMPINAS: FUNDACAO CARGILL, 1985. 430 p.

REIGOTA, M. **O que é educação ambiental**. São Paulo: Brasiliense, 1996.
SILVA, J. A. **Direito Ambiental Constitucional**. 3. ed. São Paulo: Malheiros, 2000

RIBEIRO, W. C. **A ordem ambiental internacional**. Contexto, 2001; 181 p ROSS, J. L. S. **Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs** *apud* GUERRA; CUNHA, 2000.

RONDÓ, P. H. C. **Parecer Técnico para a Vice Governadora do Estado do Paraná a respeito de contaminação por chumbo em Adrianópolis**, PR. 2001.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs** *apud* GUERRA; CUNHA, 2000.

SALGADO, P. E. T. **Toxicologia dos metais**. In: OGA, S. Fundamentos de toxicologia. São Paulo, 1996

SARYAN L.A.; ZENZ, C., **Lead and its compounds**, In C Zenz, OB Dickerson & EP Horvath (eds.). Occupational medicine. Editora Mosby-Year Book, Inc., EUA,1994

SATO, M.; HASEGAWA, H. **Nervous disorders in acute carbon monoxide poisoning.** Ind. Hlth, 168, 1970.

SEPROTEC. **Plantas de cobertura de solo.** Disponível em :
<http://www.seprotec.com.br/produtos_cobertura_feijaop.asp> Acesso em 05 ago 2007

SCHWARTZ, T. **Mídia:** o segundo Deus. São Paulo: Summus, 1985, p. 19.

SIMONIN, C. **Medicine du travail Paris**, Librairie Maloine, 1956.

SEPROTEC. **Plantas de cobertura de solo.** Disponível em :
<http://www.seprotec.com.br/produtos_cobertura_feijaop.asp> Acesso em 05 ago 2007

SILVA, L. N. **A 4ª onda:** os novos rumos da sociedade de informação. Rio de Janeiro: Record, 1989, p. 32.

SINDERMAN, C.J. **Ocean pollution.Effects on living resources and humans**. Press, Boca Raton, 275, p. 1996

SOUZA, H. A.; ROESER, H. M. P.; MATOS, A. T. **Métodos e técnicas aplicados na avaliação ambiental do aterro da BR-040 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – MG.** Revista da Escola de Minas, Ouro Preto – MG, v. 55, n. 4, p. 291-300, 2002.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO-NÚCLEO REGIONAL SUL. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10 ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004, p. 54-55.

SURSALA, S.; MEDINA, V.F.; McCUTCHEON,S.C. **Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination.** Ecol. Engin.,148:647-658,2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. B.; BOHNEN, H.; et al.; **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Boletim Técnico nº 5. 2 ed. (rev. e amp.) Porto Alegre: Departamento de Solos; Faculdade de Agronomia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TREVORS, J. T.; STRATDON, G. W. & GADD, G. M. **Cadmium transport, resistance, and toxicity in bacteria, algae, and fungi.** Can. J. Microbiol., 32: 447-460, 1986.

TSE, R. L.; BOCKMAN, A. A. **Nitrogen dioxide toxicity.** JAMA, 212: 1341, 1970

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS. **Faculdade de Engenharia Agrícola.** Disponível em: www.agr.unicamp.br. Acesso em 4 set 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Chorume**. Disponível em:
<<http://www.quimica.ufpr.br/~tecnorat/chorume.htm>> Acesso em 24 set 2007.

VIERA, P. F. **Ciência e tecnologia para o ecodesenvolvimento: prioridades para Santa Catarina**: situação atual e perspectivas. In: Encontro Anual ANPOCS, 13., 1989, Caxambu. **Anais...** Caxambu: ANPOCS, 1989, p. 86.

VIGDORSARIK, N. A. et al. **The symptomatology of chronic poisoning with oxides of nitrogen**. J. ind. Hyg. Toxicol., 19:469-73, 1973.

VIOLA, E. J.; LEIS, H. R.; SCHERER, W. **Meio ambiente, desenvolvimento e cidadania**: desafios para as ciências sociais. Florianópolis: Crotez, 1995, p. 9.

VOGH, J. W. **Nature of odor components in diesel exhaust**. J.A.P.C.A., 19:773-7, 1969.

ZAFFARONI, R. E.; PIERANGELI, J. H. **Manual de direito penal brasileiro, parte geral**. 2. ed. São Paulo: RT, 1999, 893 p.

ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico**. 2003 1v. 91p. Tese (Mestrado). Instituto Agronômico - Agricultura Tropical E Subtropical. Disponível em : <<http://servicos.capes.gov.br/capesdw/resumo.html?idtese=20034733081018001P4>> Acesso em: 13 mar 2008.

ZOCHE, J. J. **Comunidades vegetais de savana sobre estratias mineralizadas de cobre, na Mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS**. (Tese de Doutorado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002, p. 70.

WALDBOLT, L. G. **Health effects of environmental pollutants**. St. Louis, Mosby Co., 1973.

WATANABE, M. E. **Phytoremediation on the brink of commercialization**. Environmental Science & Technology, v. 31, 1997.

WHO (World Health Organization). **Human Exposure Assessment Series: Human Exposure to Lead**. Bangkok: United Nations Environment Programme.,1992

WOWK, G. I. T. H.; **Avaliação da contaminação do solo por chumbo proveniente da reciclagem de sucatas de baterias em área de várzea no município de Paula Freitas (PR)**. Curitiba, 2003. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)

APÊNDICE

APÊNDICE A – Demonstrativo de cálculos da parte experimental:

DEMONSTRATIVO DE CÁLCULOS DA PARTE EXPERIMENTAL

1. Quantidade necessária de chumbo para cada vaso para uma contaminação segundo a tabela:

Quantidade de chumbo (mg. kg ⁻¹)	Nível
100	Alerta
200	Intervenção da área agrícola
350	Para áreas residenciais
1200	Para áreas industriais
2400	dose mais elevada para avaliação da contaminação em relação a planta

OBS: cada vaso apresenta 8,350 kg de solo.

- Para 100 mg.kg⁻¹

100 mg Pb _____ 1 kg solo

X mg Pb _____ 8,350 kg solo

$$\boxed{X = 835 \text{ mg ou } 0,835 \text{ g de Pb}}$$

O valor encontrado é o valor necessário de chumbo puro para a contaminação do vaso, porém será feito a contaminação com nitrato de chumbo, assim deverá ser feito a correção levando em consideração o valor de nitrato e posteriormente uma correção de índice de nitrogênio em todos os vasos.

- Para 200 mg.kg⁻¹

200 mg Pb _____ 1 kg solo

X mg Pb _____ 8,350 kg solo

$$\boxed{X = 1670 \text{ mg ou } 1,67 \text{ g de Pb}}$$

- Para 350 mg.kg⁻¹

350 mg Pb _____ 1 kg solo

X mg Pb _____ 8,350 kg solo

$$\boxed{X = 2925,5 \text{ mg ou } 2,9225 \text{ g de Pb}}$$

- Para 1200 mg.kg^{-1}

1200 mg Pb _____ 1 kg solo

X mg Pb _____ 8,350 kg solo

$$\boxed{X = 10020 \text{ mg ou } 10,020 \text{ g de Pb}}$$

- Para 2400 mg.kg^{-1}

2400 mg Pb _____ 1 kg solo

X mg Pb _____ 8,350 kg solo

$$\boxed{X = 20040 \text{ mg ou } 20,04 \text{ g de Pb}}$$

2. Quantidade de nitrato de chumbo utilizado para a contaminação do solo por 1 kg de solo.

Nitrato de chumbo: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

- Cálculo da massa molecular (MM) do nitrato de chumbo:

$$\text{Pb} = 207 \times 1 = 207$$

$$\text{N} = 14 \times 2 = 28$$

$$\text{O} = 16 \times 6 = \underline{96}$$

$$\text{MM} = 331 \text{ g/mol}$$

- Cálculo para a quantidade de nitrato de chumbo por vaso:

- Para 100 mg.kg^{-1}

331 mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 207 mg Pb

X mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 100 mg Pb

$$\boxed{X = 159,9 \text{ mg ou } 0,1599 \text{ g de } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}$$

O valor encontrado é o valor necessário de nitrato de chumbo para a contaminação de 1 Kg de solo, porém cada vaso possui 8,350 kg de solo, onde posteriormente será feita a correção.

- Para 200 mg.kg^{-1}

331 mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 207 mg Pb

X mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 200 mg Pb

$$\boxed{X = 319,8 \text{ mg ou } 0,3198 \text{ g de } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}$$

- Para 350 mg.kg^{-1}

331 mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 207 mg Pb

X mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 350 mg Pb

$$\boxed{X = 559,7 \text{ mg ou } 0,5597 \text{ g de } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}$$

- Para 1200 mg.kg^{-1}

331 mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 207 mg Pb

X mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 1200 mg Pb

$$\boxed{X = 1918,8 \text{ mg ou } 1,9188 \text{ g de } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}$$

- Para 2400 mg.kg^{-1}

331 mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 207 mg Pb

X mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 2400 mg Pb

$$\boxed{X = 3837,7 \text{ mg ou } 3,8377 \text{ g de } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}$$

3. Quantidade de nitrato de chumbo utilizado para a contaminação do solo por vaso.

- Para 100 mg.kg^{-1}

159,9 mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 1 kg de solo

X mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 8,35 kg de solo

$$\boxed{X = 1335,5 \text{ mg ou } 1,3352 \text{ g de } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}$$

- Para 200 mg.kg^{-1}

319,8 mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 1 kg de solo

X mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 8,35 kg de solo

$$\boxed{X = 2670,33 \text{ mg ou } 2,673 \text{ g de } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}$$

- Para 350 mg.kg^{-1}

559,7 mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 1 kg de solo

X mg $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ _____ 8,35 kg de solo

$$\boxed{X = 46735 \text{ mg ou } 4,6735 \text{ g de } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2}$$

- Para 1200 mg.kg^{-1}

$1918,8 \text{ mg Pb(NO}_3)_2$ _____ 1 kg de solo

$X \text{ mg Pb(NO}_3)_2$ _____ $8,35 \text{ kg de solo}$

$$\boxed{X = 16022 \text{ mg ou } 16,022 \text{ g de Pb(NO}_3)_2}$$

- Para 2400 mg.kg^{-1}

$3837,7 \text{ mg Pb(NO}_3)_2$ _____ 1 kg de solo

$X \text{ mg Pb(NO}_3)_2$ _____ $8,35 \text{ kg de solo}$

$$\boxed{X = 32044,8 \text{ mg ou } 32,0448 \text{ g de Pb(NO}_3)_2}$$

4. Correção da quantidade de nitrogênio no solo.

Ao acrescentarmos chumbo no solo estamos acrescentando também o nitrogênio devido ao grupo nitrato (NO_3) presente no nitrato de chumbo, deste modo ao aumentarmos a concentração de chumbo aumentaremos também a concentração de nitrogênio.

Para uma análise uniforme e confiável teremos que igualar as concentrações de nitrogênio.

A correção da quantidade de nitrogênio será feita com o nitrato de amônia.

- Cálculo da quantidade de nitrogênio em cada vaso

- Para 100 mg.kg^{-1}

$331 \text{ g Pb(NO}_3)_2$ _____ 28 g N

$1,3352 \text{ g Pb(NO}_3)_2$ _____ $x \text{ g N}$

$$\boxed{X = 0,1129 \text{ g de N}}$$

- Para 200 mg.kg^{-1}

$331 \text{ g Pb(NO}_3)_2$ _____ 28 g N

$2,6703 \text{ g Pb(NO}_3)_2$ _____ $x \text{ g N}$

$$\boxed{X = 0,2259 \text{ g de N}}$$

- Para 350 mg.kg⁻¹

$$331 \text{ g Pb(NO}_3)_2 \text{ _____ } 28 \text{ g N}$$

$$4,6735 \text{ g Pb(NO}_3)_2 \text{ _____ } x \text{ g N}$$

$$\boxed{X = 0,3953 \text{ g de N}}$$

- Para 1200 mg.kg⁻¹

$$331 \text{ g Pb(NO}_3)_2 \text{ _____ } 28 \text{ g N}$$

$$16,022 \text{ g Pb(NO}_3)_2 \text{ _____ } x \text{ g N}$$

$$\boxed{X = 1,355 \text{ g de N}}$$

- Para 2400 mg.kg⁻¹

$$331 \text{ g Pb(NO}_3)_2 \text{ _____ } 28 \text{ g N}$$

$$32,0448 \text{ g Pb(NO}_3)_2 \text{ _____ } x \text{ g N}$$

$$\boxed{X = 2,7107 \text{ g de N}}$$

Com o valor máximo de nitrogênio no solo (solo com 2400 mg. kg⁻¹ de Pb(NO₃)₂) saberemos a equivalência em nitrato de amônia (reagente utilizado para fazer a correção de N)

Nitrato de amônia: NH₄NO₃

Massa molar: N = 14 x 2 = 28

H = 1 x 4 = 4

O = 16 x 3 = 48

MM = 80 g/mol

$$80 \text{ g NH}_4\text{NO}_3 \text{ _____ } 28 \text{ g N}$$

$$X \text{ NH}_4\text{NO}_3 \text{ _____ } 2,7107 \text{ g N}$$

$$\boxed{X = 7,7448 \text{ g de NH}_4\text{NO}_3}$$

- Para 100 mg.kg⁻¹

Valor máximo de N – valor de N presente vaso = valor de N a ser acrescentado
--

$$2,7107 - 0,1129 = 2,5978$$

7,7448 g de NH_4NO_3 _____ 2,7107 g N

X g de NH_4NO_3 _____ 2,5978 g N

$$\boxed{X = 7,42 \text{ g de } \text{NH}_4\text{NO}_3}$$

Diminui-se o valor máximo de nitrogênio puro presente (2,7107 g) pelo valor presente no vaso para que se possa saber a deficiência de nitrogênio que o vaso possui. Esta diferença será acrescentada em forma de nitrato de amônia no vaso para que o mesmo fique com a mesma concentração de nitrogênio que os demais vasos, ou seja, todos os vasos possuirão 2,7107g de N.

- Para 200 mg.kg^{-1}

$$2,7107 - 0,2259 = 2,4848$$

7,7448 g de NH_4NO_3 _____ 2,7107 g N

X g de NH_4NO_3 _____ 2,4848 g N

$$\boxed{X = 7,098 \text{ g de } \text{NH}_4\text{NO}_3}$$

- Para 350 mg.kg^{-1}

$$2,7107 - 0,3953 = 2,3154$$

7,7448 g de NH_4NO_3 _____ 2,7107 g N

X g de NH_4NO_3 _____ 2,3154 g N

$$\boxed{X = 6,6153 \text{ g de } \text{NH}_4\text{NO}_3}$$

- Para 1200 mg.kg^{-1}

$$2,7107 - 1,355 = 1,3557$$

7,7448 g de NH_4NO_3 _____ 2,7107 g N

X g de NH_4NO_3 _____ 1,3557 g N

$$\boxed{X = 3,8734 \text{ g de } \text{NH}_4\text{NO}_3}$$

- Para 2400 mg.kg⁻¹

$$2,7107 - 2,7107 = 0$$

$$7,7448 \text{ g de NH}_4\text{NO}_3 \text{ _____ } 2,7107 \text{ g N}$$

$$X \text{ g de NH}_4\text{NO}_3 \text{ _____ } 0 \text{ g N}$$

$$\boxed{X = 0 \text{ g de NH}_4\text{NO}_3}$$

- Para o testemunha:

$$2,7107 - 0 = 2,7107$$

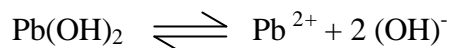
$$7,7448 \text{ g de NH}_4\text{NO}_3 \text{ _____ } 2,7107 \text{ g N}$$

$$X \text{ g de NH}_4\text{NO}_3 \text{ _____ } 2,7107 \text{ g N}$$

$$\boxed{X = 7,7448 \text{ g de NH}_4\text{NO}_3}$$

APÊNDICE B - CÁLCULO DO PRODUTO DE SOLUBILIDADE (KPS) PARA O CHUMBO

Como trata-se do chumbo diluído em meio aquoso tem-se a reação:



Para o cálculo do Kps, deve-se saber o pH do meio, para o cálculo da concentração de hidroxila, e o valor do Kps que é tabelado.

Assim com o pH calcula-se o valor da concentração de hidroxila.

$$\text{pH} = 6,5$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-6,5}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-7,5}$$

$$[\text{OH}^-] = 3,1622 \times 10^{-8}$$

Logo calcula-se o valor da concentração máxima de chumbo que estará dissolvida no meio:

$$\text{Kps} = [\text{Pb}] \cdot [\text{OH}]^2$$

$$8 \times 10^{-16} = [\text{Pb}] \cdot [3,16^{-8}]^2$$

$$[\text{Pb}] = 0,801 \text{ mol/L}$$

Realizou-se as transformações de unidades de mol/L para $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

$$1 \text{ mol Pb} \text{ ----- } 207,22 \text{ g/mol de Pb}$$

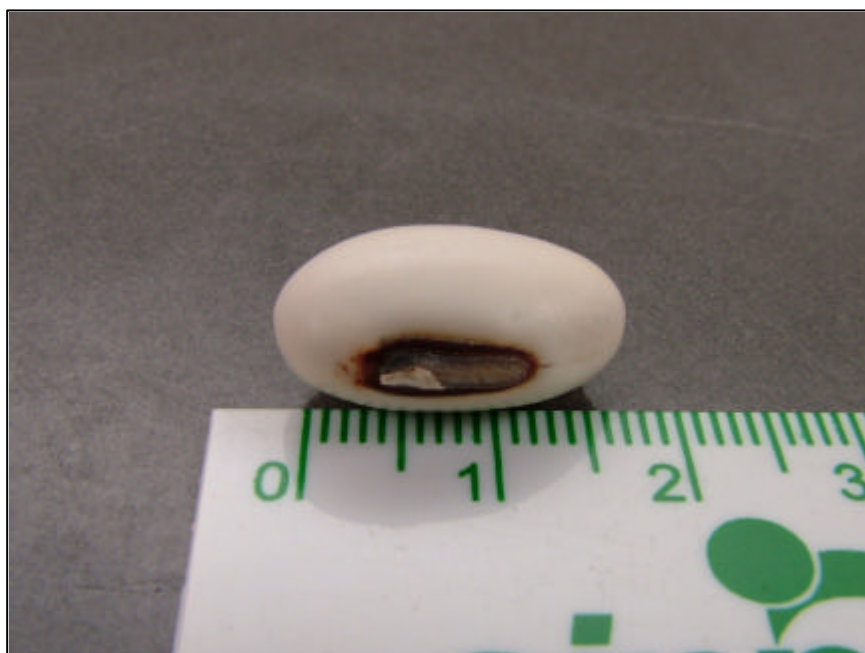
$$?_{\text{solo}} = 2,16 \text{ g/mL}$$

$$1 \text{ kg de solo} \text{ ----- } 0,4629 \text{ L}$$

$1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 207,2 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times \frac{0,4629 \text{ L}}{1 \text{ kg}} = 76730,3 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}$
--

Assim tem-se que até 76730,3 mg/kg é a quantidade máxima de chumbo dissolvida no meio.

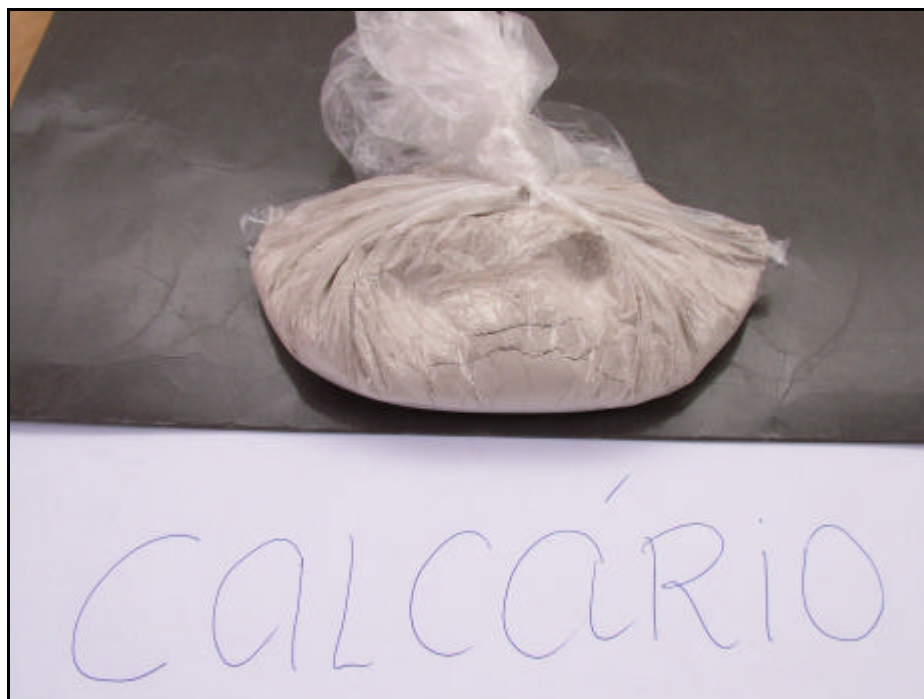
APÊNDICE C - SEMENTE DA PLANTA *CANAVALLIA ENSIFORMIS*



APÊNDICE D - VASO UTILIZADO PARA O PLANTIO DA PLANTA **CANAVALLIA**
ENSIFORMIS



APÊNDICE E- CALCÁRIO UTILIZADO PARA A CALAGEM



APÊNDICE F – RAIZ DA PLANTA FEIJÃO-DE-PORCO



APÊNDICE G – ESPECTROFOTÔMETRO DE FORNO DE GRAVITE UTILIZADO
PARA A ANÁLISE DA PLANTA.



APÊNDICE H - CALAGEM DO SOLO



ANEXOS

ANEXO A – LAUDO DA ABSORÇÃO ATÔMICA DA PLANTA

**UNISUL**

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO - CENTEC**LABORATÓRIO DE ANÁLISES QUÍMICAS****INTERESSADO:****HUMBERTO GRACER RIELLA**
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA QUÍMICA

Laudos Nº: 1545/11/2007	Data da Coleta: 05/11/2007	Hora da Coleta: 9h30mi as 10:00h
Município: Florianópolis-SC	Local da Coleta: xxx	Manancial: xxx
Temperatura da Água: xxx	Temperatura do Ambiente: xxx	Amostrador: Kátia Mazzuco
Data de Entrada no Laboratório: 05/11/2007		
AMOSTRA TESTEMUNHA VASO A1 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	2,33	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA TESTEMUNHA VASO A2 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	0,87	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA TESTEMUNHA VASO A3 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	0,24	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO B1 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	7,92	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO B2 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	13,61	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO B3 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	17,06	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO C1 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	21,07	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO C2 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	19,87	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO C3 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	24,65	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite



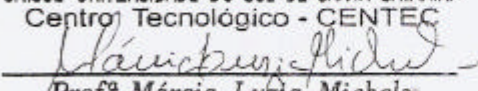
UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

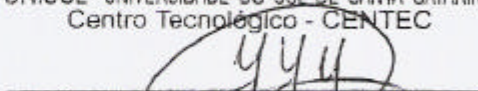
AMOSTRA VASO D1 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	31,24	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO D2 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	47,32	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO D3 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	30,17	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO E1 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	62,57	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO E2 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	56,20	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO E3 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	41,76	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO F1 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	63,33	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO F2 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	40,29	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite
AMOSTRA VASO F3 - CARNAVALIA ENSIFORMES		
ANÁLISES	RESULTADO	METODOLOGIA
Chumbo, mg/kg	35,19	Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite

Tubarão (SC), 23 de novembro de 2007

UNISUL - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
Centro Tecnológico - CENTEC


Profª Márcia Lúcia Michels
CRQ - 13º R. 13200099
Engª. Química Responsável

UNISUL - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
Centro Tecnológico - CENTEC


Prof. Dr. Jailton Soares
Coordenador do CENTEC

ANEXO B – LAUDO DE ANÁLISE DO SOLO

LAUDO DE ANÁLISE DE SOLO

Nome.....: Katia F. Mateus Mazzuco
Município.....: Tubarão
Localidade.....: Humaitá
Estado.....: SC

Data de Recebimento.....: 22/03/2007
Data de Expedição.....: 29/03/2007

Núm.	Registro	Argila %	Classe	pH	Índice SMP	P mg/L	K mg/L	M.O. %	Al cmol _c /L	Ca cmol _c /L	Mg cmol _c /L
1	11490-1	15	4	4,7	6,2	>50	146	2,4	0,3	3,3	1,1
2	11490-2	15	4	4,8	6,2	>50	80	2,2	0,4	2,8	1,3

Núm.	H + Al cmol _c /L	CTC cmol _c /L	% SAT. da CTC		S mg/L	Zn mg/L	Cu mg/L	B mg/L	Mn mg/L	Fe %	Cl mg/L
			Bases	Al							
1	3,5	8,3	57,5	5,9	10,4	1,4	0,5	0,4	48	0,07	---
2	3,5	7,8	55,2	8,5	17,8	2,1	0,8	0,3	39	0,06	---

Análises Adicionais:

Núm.	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Núm.	Observações
1	01
2	02

UNIDADES: % = massa/volume; mg/L = ppm (peso/volume);
cmol_c/L = meq/100 mL; CTC a pH 7.0

Consulte um profissional da área agrícola para obter as recomendações de adubação e calagem.

"Os resultados apresentados no presente laudo de análise têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada". A reprodução do documento somente poderá ser realizada integralmente, sem nenhuma alteração.

Kirst
Alcido Kirst
Responsável Técnico
Reg. CRQ-V 05100435

Laboratório Participante da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - ROLAS
Avenida Independência, 2293 - Bloco 11 - Santa Cruz do Sul - RS - CEP 96.815-900
Fone (0xx51) 3717-7500 Fax (0xx51) 3717-7530 www.unisc.br/centralanalitica central@unisc.br



